



Temperatuurstrategieën in geconditioneerde kassen

Effecten op groei, ontwikkeling en onderliggende processen bij tomaat

Anja Dieleman, Arie de Gelder, Jan Janse, Barbara Eveleens, Peter Lagas, Anne Elings,
Tian Qian, Johan Steenhuizen en Robbert Biemans



Referaat

Met een temperatuurstrategie over de dag kan zowel de ontwikkeling van de plant (strekking, assimilatenverdeling) als het energiegebruik beïnvloed worden. In 2010 is een aantal temperatuurstrategieën beproefd, waarin de momenten en snelheid van stijging van de temperatuur 's ochtends en de snelheid van daling van de temperatuur aan het einde van de dag gevarieerd werden, waarbij de etmaaltemperatuur gelijk bleef. De groei, productie en kwaliteit van tomaten in de verschillende temperatuurbehandelingen vertoonden geen verschillen. De snelheid van opstoken aan het begin van de dag had geen effect op de strekking van stengels, bladeren en trossteeltjes. Wanneer aan het einde van de dag de kaslucht snel werd afgekoeld, nam de temperatuur van de bladeren snel mee af, en ijelde de vruchttemperatuur na. Dit had echter geen meetbaar effect op de vruchtgrootte of het vruchtgewicht. De CO₂ concentratie in de geconditioneerde kassen was hoger dan in de open kas, hetgeen leidde tot hogere producties. De fotosynthesekarakteristieken verschilden echter niet tussen bladeren uit de open kas en de geconditioneerde kassen. Wanneer echter een deel van de vruchten ('sinks') verwijderd werden, nam de fotosynthese wel af. De resultaten van dit experiment laten zien dat er in de praktijk meer ruimte is om de temperatuur te sturen aan het begin en het einde van de dag, zonder de etmaaltemperatuur te beïnvloeden dan tot nu toe werd gedacht.

Abstract

Plant development (elongation, assimilate distribution) and energy consumption can be affected by the temperature pattern during the day. In 2010, we tested a number of temperature strategies, in which the moment and rate of temperature increase in the morning and rate of temperature decrease at the end of the day were varied, while keeping the average 24-h temperature constant. Growth, production and quality of tomatoes in the different temperature treatments did not differ. The rate of temperature increase at the beginning of the day did not affect elongation of stems, leaves and peduncles. When greenhouse air temperature is lowered rapidly at the end of the day, the temperature of the leaves decreases fast as well, whereas fruit temperature lags behind. This does not affect fruit size or fruit weight. CO₂ concentrations in the conditioned greenhouses was higher than in the open greenhouse, leading to higher production levels. Photosynthesis characteristics did not differ between leaves from the open greenhouse and conditioned greenhouses. However, when part of the fruits ('sinks') were removed, photosynthesis does decrease. Results of this experiment show that grower have more room for altering temperature patterns in the morning and evening, without affecting average 24-h temperature, than expected.

© 2012 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
1.1	Geconditioneerd telen	7
1.2	Opzet en onderzoeksvragen	8
1.2.1	Temperatuurdynamiek	8
1.2.2	CO ₂ respons en efficiëntie	9
1.3	Behandelingen	9
1.4	Leeswijzer	10
2	Kasinrichting, teeltverloop, klimaatregeling en metingen	11
2.1	Kasinrichting	11
2.2	Teeltverloop	12
2.3	Klimaatregeling	13
2.3.1	Koeling	13
2.3.2	Ontvochtiging	14
2.3.3	Klimaatregeling	14
2.3.4	Behandelingen	15
2.4	Metingen	17
2.4.1	Groei en ontwikkeling	17
2.4.2	Lokaal trossen verwarmen met cuvetten	17
2.4.3	Orgaan temperatuur	18
2.4.4	Lengtegroei	19
2.4.5	Gewasverdamping	20
2.4.6	Nutriënten	21
2.4.7	Fotosynthese	21
2.4.8	Houdbaarheid	21
3	Resultaten – Kasklimaat	23
3.1	Gerealiseerde temperatuur	24
3.2	CO ₂ -concentratie en dosering	26
3.3	Luchtvochtigheid	27
3.4	Verticale gradiënten in temperatuur en luchtvochtigheid	30
3.5	Energie voor verwarmen en koelen	31
3.6	Conclusies klimaat	32
4	Resultaten – gewas	34
4.1	Vegetatieve groei	34
4.1.1	Botrytis	36
4.2	Resultaten - Generatieve groei en ontwikkeling	36
4.3	Destructieve oogsten	40
4.4	Houdbaarheid	42
4.5	Conclusies	43
5	Resultaten – strekking en vruchtgrootte	44
5.1	Strekking gerelateerd aan temperatuurdynamiek in de ochtend	44
5.2	Vruchtgrootte gerelateerd aan temperatuurstrategie aan het einde van de dag	45
5.3	Conclusies	47

6	Resultaten – verdamping	48
6.1	Conclusies gewasverdamping	57
7	Nutriëntenopname	58
7.1	Calcium	58
7.2	Magnesium	59
7.3	Kalium	61
7.4	Conclusies nutriëntenopname	63
8	Resultaten – fotosynthese	64
8.1	Adaptatie aan langdurig hoge CO ₂ concentraties	64
8.2	Fotosynthese bij verminderde assimilatenvraag	66
8.3	Dagpatronen	67
8.4	Conclusies	71
9	Discussie en conclusie	72
9.1	Temperatuurstrategieën en lengtegroei	72
9.2	Temperatuurstrategieën en vruchtgroei	72
9.3	Verdamping en nutriëntenopname	73
9.4	Efficiëntie van fotosynthese	74
9.5	Conclusie	75
10	Literatuur	76
Bijlage I	Bevindingen van de BCO	78
Bijlage II	Dagpatronen van de fotosynthese	80

Samenvatting

In de jaren 2003 tot 2007 is het aantal bedrijven waarop (semi)gesloten geteeld wordt geleidelijk toegenomen. Op alle bedrijven bleken echter vragen te bestaan over de reacties van het gewas op het nieuwe klimaat. Daarom is in 2008 door Wageningen UR Glastuinbouw een onderzoek gestart naar de groei van tomaat in geconditioneerde kassen, waarin veel aandacht wordt besteed aan de fysiologische processen in de plant. Het onderzoek wordt gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron door Productschap Tuinbouw en het ministerie van EL&I en wordt begeleid door een aantal tomatentelers en een adviseur. Het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven had als centrale vragen hoe verschillende temperatuurstrategieën de processen in de plant beïnvloeden en hoe CO₂ in de kas efficiënt benut kan worden.

Temperatuurstrategieën

Op 18 december 2009 zijn bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk tomaten geplant (Cappricia op Emperador) in 5 afdelingen van 144 m². In de eerste maanden werd in alle afdelingen op dezelfde manier geteeld om een goed gewas neer te zetten. Op 30 maart 2010 (week 13) zijn de behandelingen gestart. In één afdeling werd niet gekoeld (open kas), in de andere vier afdelingen was de koelcapaciteit 350 W/m² en werd op een standaard wijze opgestookt en afgekoeld (snel, snel) of langzaam opgestookt naar de dag (langzaam, snel) of langzaam opgestookt en de temperatuur aan het einde van de dag langzaam afgebouwd (langzaam, langzaam). De laatste behandeling was een standaard temperatuurstrategie, met verminderd luchten om de CO₂ efficiënter te gebruiken

Klimaat en energie

In alle afdelingen werd CO₂ gedoseerd met een capaciteit van maximaal 230 kg/ha/uur. In de semi-gesloten afdelingen werd tot eind augustus 31 - 34 kg CO₂ per m² per jaar gedoseerd, waarmee in de periode mei – augustus tussen 10:00 en 17:00 uur concentraties van 870 - 910 ppm werden gerealiseerd. In de open kas werd tot eind augustus 42 kg/m² gedoseerd, waarmee in dezelfde periode een concentratie van 680 ppm kon worden gehandhaafd. Op zonnige dagen met hoge buitentemperaturen liep de temperatuur in de open kas op, maar over het algemeen waren de verschillen in etmaaltemperaturen tussen open en geconditioneerde kassen beperkt. De temperatuurbehandelingen werden volgens plan gerealiseerd, waarbij het vochtdeficiet in de kas die langzaam afkoelde aan het einde van de dag en begin van de nacht hoger was dan in de andere afdelingen.

Gewasgroei en productie

De vegetatieve kenmerken van de planten in de verschillende afdelingen (bladlengte, kopdikte, lengtegroei) vertoonden geen verschillen. De productie in de open kas was lager dan in de geconditioneerde afdelingen, hetgeen werd veroorzaakt door een lager gemiddeld vruchtgewicht. In de geconditioneerde afdelingen werd 3 – 7% meer versgewicht aan vruchten geoogst dan in de open kas. Deze verschillen zijn klein, en worden niet verklaard door het aantal aangelegde trossen, maar door het gemiddeld vruchtgewicht. De tomaten uit de behandelingen verschilden niet in houdbaarheid. Wel werd duidelijk dat de houdbaarheid werd beïnvloed door de temperaturen in de kas in de periode voorafgaand aan de oogst.

Strekking en vruchtgrootte

In dit experiment werd getoetst in hoeverre de temperatuurstrategieën in de ochtend (snelheid van opstoken) en in de avond (snelheid van afkoelen) een effect hebben op de strekking van delen van de plant en op het assimilatentransport naar de vruchten. Uit de metingen bleek dat de snelheid van opstoken aan het begin van de dag geen meetbaar effect heeft op de strekking van stengels, bladeren en trossteeltjes. Wanneer aan het einde van de dag de kaslucht snel wordt afgekoeld, neemt de temperatuur van de bladeren snel mee af, en ijlt de vruchttemperatuur na. Dit heeft echter geen meetbaar effect op de vruchtgrootte of het vruchtgewicht. Met de temperatuurstrategieën die in deze proef zijn aangehouden is de lengtegroei of assimilatenverdeling binnen de plant niet te sturen.

Verdamping

Om de verdamping te kunnen bepalen werden weeggoten gebruikt, waarmee het matgewicht gewogen werden, en weegbalken om het gewicht van de planten te bepalen. Uit deze metingen bleek dat de verdamping in de open kas 30-40% hoger is dan in de geconditioneerde afdelingen. Dit werd vooral veroorzaakt door verschillen in luchtvochtigheid; de VPD was in de open kas hoger dan in de geconditioneerde afdelingen. De verschillen in verdamping tussen de geconditioneerde afdelingen waren beperkt. Verder is specifiek gekeken naar de verschillen in verdamping in de periode van opwarmen van de kaslucht en afkoelen van de kaslucht richting de nachttemperatuur. Daarbij bleek dat er geen meetbare verschillen waren in verdamping bij de verschillende opstookstrategieën. Aan het einde van de dag verschilt de verdamping wel tussen de behandelingen: de afdeling waarbij de temperatuur langzaam teruggebracht wordt, heeft een hogere temperatuur en een hogere luchtvochtigheid en daardoor een lagere verdampingssnelheid dan de behandelingen waarbij de kasluchttemperatuur snel teruggebracht wordt door de ramen snel ver te openen.

Nutriënten

Gedurende de teelt zijn nutriëntengehaltes in bladeren en vruchten bepaald. De nutriëntengehaltes in de open kas en geconditioneerde afdelingen vertonen op hoofdlijnen geen verschillen. De nutriëntengehaltes zijn hoog genoeg om geen problemen met groei te verwachten. Er is alleen een duidelijk effect waargenomen van de hogere verdamping in de open kas in vergelijking tot de geconditioneerde afdelingen op de calciumgehaltes in de vruchten en in de jonge bladeren. Door de hogere verdamping in het (zonnige) voorjaar zijn de calciumgehaltes in de jonge bladeren in de open kas hoger dan in de geconditioneerde afdelingen, omdat het calcium met de waterstroom mee het blad ingevoerd wordt, met als gevolg minder bladrandjes in de open kas. Daarentegen zijn in de open kas de calciumgehaltes in de vruchten lager, zowel bij de steel als in het uiteinde van de vrucht. Deze waarden zijn echter niet zodanig laag dat ze neusrot veroorzaken, hetgeen overeenstemt met het feit dat er geen neusrot in dit experiment is waargenomen.

Fotosynthese

Met behulp van draagbare fotosyntheseapparatuur is de bladfotosynthesesnelheid gemeten. Voor een optimale gewasgroei in geconditioneerde kassen is het van belang te weten of de fotosynthese uitsluitend wordt bepaald door de klimaatfactoren, of dat er andere mechanismen zijn die er voor zorgen dat de fotosynthese minder is dan op grond van de heersende klimaatfactoren verwacht zou kunnen worden. Uit fotosynthesemetingen gedurende de teelt in zowel de open kas als de geconditioneerde kas met minder ventilatie bleek dat er geen verschil is in fotosynthesekarakteristieken tussen bladeren in deze kassen, ondanks het feit dat er wel langdurig verschillen zijn in CO₂ concentraties. Dat betekent dat de planten zich niet aanpassen aan de hoge CO₂ concentraties. Een reden hiervan kan zijn dat een tomatengewas veel "sinks" heeft in de vorm van de vruchten, wat betekent dat de geproduceerde assimilaten gebruikt kunnen worden door assimilatenvragende organen, voor de groei van de vruchten. Als namelijk van planten een deel van de vruchten of alle vruchten verwijderd worden, is wel een afname van de fotosynthese te zien.

Conclusies

In dit experiment zijn temperatuurstrategieën aangelegd die verschillen in opstooksnelleid en afkoelsnelheid. Deze aangelegde temperatuurstrategieën bleken geen effect te hebben op de groei en ontwikkeling van het gewas en de productie van tomaten. Dat betekent dat er in de praktijk meer ruimte is om de temperatuur te sturen aan het begin en het einde van de dag, zonder de etmaaltemperatuur te beïnvloeden dan tot nu toe werd gedacht.

1 Inleiding

1.1 Geconditioneerd telen

In de jaren negentig is een teeltconcept ontwikkeld voor de glastuinbouw waarin de kas volledig gesloten werd. Kenmerk van een gesloten kas is dat er een klimaat gerealiseerd kan worden dat onafhankelijk is van het buitenklimaat, met uitzondering van de factor licht. Met behulp van verwarming, koeling, ontvochtiging en CO₂ dosering kunnen temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂ concentratie in de kas naar wens gerealiseerd worden. Door in de zomer een deel van de warmte van de zon te oogsten, dit op te slaan en in de winter te gebruiken, biedt dit concept grote mogelijkheden tot reductie van het gebruik van fossiele energie (De Zwart, 2008). In 2002 is dit concept voor het eerst beproefd, in een kasafdeling van het toenmalige PPO in Naaldwijk. De resultaten toonden aan dat telen van een goed gewas met een hoge productie in de gesloten kas mogelijk was tegen een lager energiegebruik dan in een open kas (Schoonderbeek *et al.* 2003; De Gelder *et al.* 2005; Opdam *et al.* 2005).

In de jaren die volgden is op een aantal praktijkbedrijven gestart met gesloten of semi-gesloten telen. Deze termen worden nu onder de verzamelnaam “geconditioneerd telen” geschaard. De ervaringen op de praktijkbedrijven waren wisselend. Het werd duidelijk dat er op het gebied van geconditioneerd telen nog veel te leren viel. De nieuwe technische ontwikkelingen leidden vaak tot onverwachte zaken in het klimaat, zoals grote verticale temperatuurverschillen, lage luchtvochtigheid door het binnenhalen van droge buitenlucht en een andere relatie tussen plant- en luchttemperatuur (Raaphorst, 2005; Raaphorst *et al.* 2006, 2007; Bakker *et al.* 2006; De Gelder *et al.* 2007; De Zwart *et al.* 2008). Daardoor werd het beeld van het gewas in de kas anders dan in een open kas, waardoor telers opnieuw moesten zoeken naar de juiste manier van telen. In veel gevallen werd in de eerste jaren van geconditioneerd telen daarmee niet de productiestijging gerealiseerd waar op gerekend was.

Om de potentie van zowel meerproductie als reductie in energiegebruik en CO₂ emissie te realiseren is het van groot belang de vragen die er in de praktijk leven over de reacties van het gewas op het nieuwe klimaat in geconditioneerde kassen te beantwoorden. Met dit doel is het project “Gewasmanagement bij geconditioneerd telen” opgezet. In het eerste jaar van het project, 2008, zijn twee experimenten uitgevoerd. In het eerste experiment zijn de groei, ontwikkeling en onderliggende processen van tomaten geteeld bij verschillende klimaten geanalyseerd (Dieleman *et al.* 2009). Deze klimaten werden gerealiseerd door een reeks koelcapaciteiten aan te leggen: open kas, kassen met koelcapaciteiten van 150 en 350 W/m² en een gesloten kas (koelcapaciteit van 700 W/m²). De belangrijkste bevindingen waren dat de hogere CO₂ concentraties in de meer gesloten afdelingen de belangrijkste oorzaak waren van de meerproductie, dat de verschillende klimaten geen effect hadden op de verhouding vegetatieve/generatieve groei (uitgedrukt in deel van de geproduceerde assimilaten dat in vruchtgroei werd geïnvesteerd) en dat bij optimale omstandigheden (hoog licht, hoge CO₂ concentratie) het temperatuuroptimum voor de fotosynthese naar hogere temperaturen verschuift. In het tweede experiment werd een reeks luchtvochtigheden aangelegd (Eveleens *et al.* 2009). Dit beïnvloedde wel de morfologie, wateropname en verdamping van het gewas, maar had geen effect op de ontwikkelingsnelheid en productie.

In 2008 kwam in de praktijk de discussie op gang of er gekoeld moest worden via slurven onder het gewas of via het inblazen van koele lucht boven het gewas. Beide systemen hebben hun voor- en nadelen, op het gebied van verticale temperatuurgradiënt en lichtverlies. In het tweede jaar van het project is een experiment uitgevoerd om de vraag te beantwoorden wat de effecten van beide systemen op de gewasgroei, -ontwikkeling en productie zijn. De verticale gradiënt had geen effect op de assimilatenaanmaak (fotosynthese) of assimilatenverdeling. Het gemiddeld vruchtgewicht was in de kassen met onderkoeling wel iets hoger dan in de kassen met bovenkoeling, hetgeen leidde tot een iets hogere productie. De verdamping in de afdelingen met bovenkoeling was ca. 71% van de verdamping in de open kas, in de afdelingen met onderkoeling 63%. Wanneer van onderaf gekoeld wordt, is er relatief minder verdamping onder in het gewas, door de lagere gewas temperatuur. De stevigheid en bewaarbaarheid van tomaten uit de kas met onderkoeling was het hoogst, gevolgd door de kas met bovenkoeling en de open kas.

De smaak van de tomaten uit de verschillende afdelingen vertoonde geen verschillen. Concluderend kon gesteld worden dat een verticale temperatuurgradiënt de groei en ontwikkeling van een tomatengewas wel beïnvloedt, maar dat telers met beide systemen goed uit de voeten kunnen als ze hun klimaatinstellingen er op aanpassen.

1.2 Opzet en onderzoeksvragen

In 2009 bleek in een aantal experimenten met Het Nieuwe Telen dat er verschillend werd gedacht over wat de beste temperatuurstrategie gedurende de dag is voor tomaat. Met de temperatuurstrategie kan zowel de ontwikkeling van de plant (strekking, assimilatenverdeling) als het energiegebruik beïnvloed worden. Op welke wijze dit binnen geconditioneerd telen of andere nieuwe teeltconcepten het beste toegepast kan worden, is voor telers een belangrijk onderwerp. Daarom is voor de proef van 2010 besloten een aantal temperatuurstrategieën te beproeven, waarin de momenten en snelheid van stijging van de temperatuur 's ochtends en de snelheid van daling van de temperatuur aan het einde van de dag variëren. Verder wordt een behandeling opgenomen waarin de efficiëntie van inzetten van CO₂ bekeken wordt.

1.2.1 Temperatuurdynamiek

De temperatuurpatronen gedurende een etmaal zijn de laatste jaren bij tomaat duidelijk veranderd en verschillen tussen telers. Daarbij zal tussen verschillende patronen verschil in energievraag bestaan. Met temperatuurstrategieën zijn zowel de ontwikkeling (strekking, assimilatenverdeling) van de plant als het energiegebruik te beïnvloeden. Voor telers is het beïnvloeden van de balans tussen generatieve en vegetatieve groei een belangrijk onderwerp ("generatief" of "vegetatief" sturen) dat altijd weer aanleiding tot discussie geeft. Ook binnen geconditioneerd telen zien zij dit als een belangrijk onderdeel van het optimaliseren van de teelt. Eén van de aanleidingen hiervoor is het optreden van kniktrossen in de proef van 2009, hetgeen volgens de telers te maken heeft met de balans tussen generatieve en vegetatieve groei.

Telers hanteren verschillende momenten en snelheden van stijging van de temperatuur 's ochtends en daling van de temperatuur aan het eind van de dag. Uit de literatuur is weinig bekend over het effect van sneller opstoken of langzamer afkoelen. Er zijn wel studies gedaan naar de effecten van DIF (verschil tussen nacht- en dagtemperatuur) en DROP (tijdelijke temperatuurverlaging in de ochtend), maar hierbij is nagenoeg nooit aandacht besteed aan de snelheid waarmee de temperatuur verlaagd of verhoogd werd.

Hypothesen

- Strecking van stengel, blad en trossteeltjes is gerelateerd aan temperatuurdynamiek in de ochtend.
 - o Het verschil tussen dag- en nachttemperatuur beïnvloedt de strekking (Bertram en Karlsen, 1994; Adams et al., 2002; Gertsson, 1992). Planten blijven korter als het verschil tussen dag en nachttemperatuur kleiner wordt (Heuvelink, 1989). Strecking bij tomaat treedt het sterkst op in de laatste uren van de nacht en de eerste uren van de dag (Gertsson, 1992). Variaties in de temperatuurstrategie in de overgang van nacht naar dag hebben effect op de strekking en de volumeontwikkeling van de vruchten. Bijvoorbeeld de lengtes van de trossteeltjes is relevant, naarmate de lengte groter wordt is de kans op kniktrossen ook groter (met negatieve gevolgen voor de productie). Tomatentelers proberen de temperatuur aan het begin van de dag zo lang mogelijk laag te houden door sterk te ventileren.
 - o De metingen die betrekking hebben op deze hypothese worden besproken in hoofdstuk 5.1.
- Vruchtgrootte wordt bepaald door de snelheid van de daling van de temperatuur op het einde van de dag
 - o Telers laten op eind van de dag de kasttemperatuur heel snel zakken. De theorie is dat de daling van de temperatuur van de vruchten na-ijlt bij die van de rest van de plant. Aanname is dat als de temperatuur van vrucht hoger is dan van rest van de plant, de generatieve groei sterk gestimuleerd wordt. Dit is een praktijkervaring maar niet beschreven in de wetenschappelijke literatuur. De temperatuur niet laten zakken maar de warmte in de kas laten zolang het een dag is met een warmtevraag, bespaart energie. Vaak moet in de praktijk namelijk om de nachttemperatuur te realiseren weer worden gestookt. Daarnaast kan de verdeling van de assimilaten naar vruchten en bladeren worden beïnvloed omdat de temperatuur van bladeren en vruchten op een andere wijze verloopt en daarmee de sinksterkte van deze organen beïnvloedt.

- o De metingen die betrekking hebben op deze hypothese worden besproken in hoofdstuk 5.2.
- De strategie van opstoken aan het begin van de dag en afkoelen aan het einde van de dag beïnvloeden de wateropname, verdamping en nutriëntenopname.
- o De metingen die betrekking hebben op deze hypothese worden besproken in hoofdstukken 6 en 7.

1.2.2 CO₂ respons en efficiëntie

Bij onderzoek naar geconditioneerd telen van tomaat wordt als verklaring voor een betere groei en productie met name CO₂ genoemd. Voor de telers is het verbeteren van de efficiëntie van het gedoseerde CO₂ ook in geconditioneerde teelten nog een belangrijk onderwerp.

Bij een vermindering van het energiegebruik is er minder warmte nodig, dus minder CO₂ beschikbaar (tenzij OCAP of vloeibare CO₂ aanwezig is; maar die CO₂ is relatief duur). Deze beperkte hoeveelheid CO₂ moet dan zo efficiënt mogelijk gebruikt worden, door te doseren als de vraag van het gewas hoog is en het verlies via ventilatie beperkt. Met andere woorden als de plant zo efficiënt mogelijk gebruik maakt van de aangeboden CO₂. De efficiëntie wordt hier gedefinieerd als de verhouding tussen opgenomen hoeveelheid en gedoseerde hoeveelheid CO₂. In het project ventilatie monitor is onderzocht hoe het ventilatievoud tot stand komt. Voor verhogen van de efficiëntie van CO₂ is het nu nodig om beter inzicht te hebben in de opname van CO₂ door de plant gegeven de omstandigheden van de plant.

Hypothesen

Bij de zoektocht naar verbeteren van de CO₂ efficiëntie zijn de volgende hypothesen van belang:

- De momentane CO₂ opnamesnelheid van gewas wordt vooral bepaald door de lichtintensiteit. Daarnaast spelen interacties met temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid een rol. Dit alles zolang er geen aanpassing is van het fotosynthese apparaat aan de CO₂ concentraties in de geconditioneerde kas, die langdurig hoog zijn.
- Gedurende de dag treedt er variatie op in fotosynthese-eigenschappen. Hierin spelen de heersende omstandigheden een rol (licht, temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid). Daarnaast spelen aan het begin en einde van de lichtperiode huidmondjes een rol. Deze openen en sluiten geleidelijk, met als gevolg dat de efficiëntie van de fotosynthese op die momenten lager kan zijn dan op andere momenten van de dag. Over het algemeen is dit niet zichtbaar in de fotosynthese, omdat de lichtintensiteiten op die momenten toch laag zijn.
- Aan het einde van de dag kan er feed-back inhibitie optreden: een ophoping van assimilaten aan het einde van de dag met als gevolg een lagere CO₂ opname (fotosynthese).
- De metingen die betrekking hebben op deze hypothesen staan beschreven in hoofdstuk 8.

Consequentie hiervan is dat het effect van verhoging van de CO₂ concentratie op de fotosynthese (en verwerking van die assimilaten) niet steeds gelijk is. Op het ene moment heeft het daardoor meer zin om CO₂ te doseren dan op een ander moment en de ene keer is de maximale fotosynthese misschien al bij 600 ppm bereikt terwijl op een ander moment het maximum bij 1200 ppm kan liggen.

1.3 Behandelingen

Om deze hypothesen te toetsen, worden de volgende behandelingen toegepast in deze proef:

1. Open kas
2. “Standaard” temperatuurstrategie in de geconditioneerde kas
3. Als 2, met een temperatuurstrategie met een geleidelijke overgang van nacht- naar dagtemperatuur
4. Als 2, met een temperatuurstrategie met een geleidelijke overgangen van nacht- naar dagtemperatuur en van nacht- naar dagtemperatuur.
5. Als 2, met een efficiënter gebruik van CO₂ door verminderde ventilatie.

Volgens de hypothesen zouden deze behandelingen moeten leiden tot de volgende effecten:

1. Behandeling met een vroege en geleidelijke overgang van nacht- naar dagtemperatuur: meer strekking van bladeren, stengel en trossteeltjes en grotere vruchtdiameters. Meer strekking van bladeren leidt in het begin van de teelt tot een snellere opbouw van bladoppervlakte en daardoor tot een betere lichtonderschepping. Dit leidt tot meer groei (droge stof productie) in het begin van de teelt en daarmee tot een verhoging van de vroege productie.
2. Behandeling met een geleidelijke overgang van dag- naar nachttemperatuur: Veelal wordt aangenomen dat temperatuur van de vrucht hier minder lang warm zal blijven ten opzichte van de rest van de plant, waardoor de sinkwerking van de vrucht ten opzichte van die van de rest van de plant kleiner wordt. Dit leidt tot een toename van het versgewicht van de vruchten. Onze verwachting is dat effecten van deze snelle koeling verwaarloosbaar zijn en dat het wel energie kost. We willen dus laten zien dat je op deze manier zonder risico energie kunt besparen.
3. Behandelingen met geleidelijke overgangen: geleidelijke toe- en afname van de verdamping en waterverbruik in de ochtend en avond, waardoor er minder fysiologische afwijkingen zullen zijn.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport worden de resultaten van het experiment beschreven, waarin de effecten van verschillende temperatuurstrategieën met elkaar worden vergeleken. De temperatuurstrategieën verschillen onderling in de snelheid van opwarmen naar de dagtemperatuur en de snelheid van afkoelen naar de nachttemperatuur. Verder wordt er in dit rapport gekeken naar de efficiëntie van CO₂ toediening in geconditioneerde kassen. In hoofdstuk 2 worden de inrichting van de kas, het verloop van de teelt, de regeling van het kasklimaat en de metingen beschreven. In hoofdstuk 3 wordt het gerealiseerde kasklimaat uitgebreid beschreven. De effecten hiervan op de ontwikkeling van het gewas, zowel vegetatief als generatief worden in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van metingen aan strekking en vruchtgrootte als gevolg van de temperatuurstrategieën beschreven. De verdamping in de verschillende behandelingen worden beschreven in hoofdstuk 6, de nutriëntengehaltes in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 staan de resultaten van fotosynthesemetingen besproken die aan moeten geven of het gewas gedurende de hele teelt even efficiënt met CO₂ om kan gaan. Het rapport eindigt in hoofdstuk 9 met het bespreken van de hypothesen die hierboven opgesteld zijn. Daar wordt per hypothese besproken of de resultaten aangeven of de hypothese juist of onjuist is en worden de resultaten bediscussieerd.

2 Kasinrichting, teeltverloop, klimaatregeling en metingen

2.1 Kasinrichting

Het onderzoek is uitgevoerd in het kassencomplex van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk in kasafdelingen 8.04 tot en met 8.08. De kas heeft een Venlo-dek van 4.8 meter kapbreedte op een tralieligger van 9.6 meter breed met doorlopende nokluchting. De afdelingen zijn 15 meter lang en 9.6 m breed (bruto grondoppervlak van 144 m²). De kolomlengte is 5.50 meter. Op een hoogte van 4.25 m bevinden zich de bogen voor de gewasdraden. Aan de voorkant van de kas is een betonpad van 1.30 m breedte om buisrailkarren te kunnen verplaatsen tussen de paden.

De afdelingen waren ingericht met een teeltsysteem bestaande uit 7 goten met een lengte van 12.5 meter. De gootbreedte was 20 cm. De goten lagen 50 cm boven de grond. Voor de verwarming was er een buisrailnet (51 mm) en een in hoogte verstelbare groeibuis (forças 35 mm). Er was een dubbele scherminstallatie aanwezig bestaande uit een energiescherm (LS 10 Ultra) en een verduisteringsscherm. Het verduisteringsscherm is in de proef niet gebruikt. De klimaatregeling gebeurde met een standaard tuinbouwcomputer (Hoogendoorn-Economic).

Als substraat werden Grodan Growtop Expert steenwolmatten van 7.5 cm dik gebruikt. De matten waren 19 cm breed en 130 cm lang. De water- en voedinggift gaan via een druppelsysteem. Er werd niet gerecirculeerd, maar dagelijks werd een nieuwe voorraad voeding aangemaakt. Voor de samenstelling van de voeding zijn normale praktijkwaarden gehanteerd.

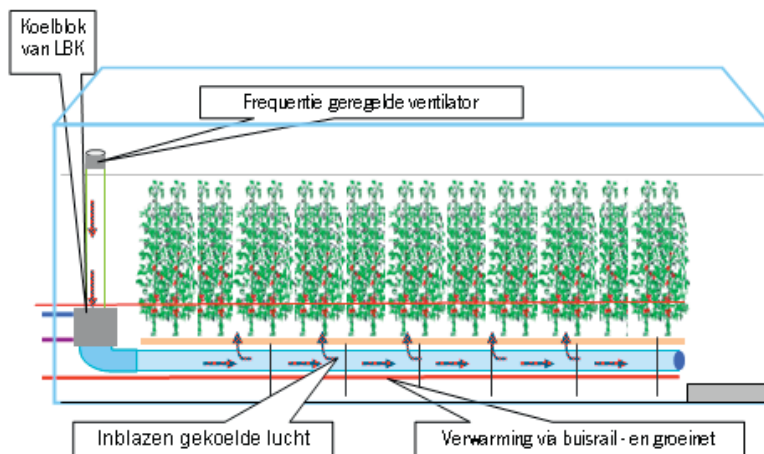
De CO₂ voor dosering in de kas was afkomstig van OCAP. De doseercapaciteit was in overleg met de BCO ingesteld op 230 kg/ha/uur.

Een vernevelinstallatie was in de kasafdelingen aanwezig, maar is in deze proef niet gebruikt.

Voor de koeling was in de geconditioneerde afdelingen een koelinstallatie aanwezig. Deze kon waterzijdig zo worden afgesteld dat bij een temperatuurverschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur van het koelwater van 8 °C het gewenste koelvermogen van 350 W/m² kon worden gerealiseerd.

Voor de koeling van de kas werd lucht boven in de kas aangezogen en via een doorzichtige slang naar een warmtewisselaar gebracht. In de lucht/water warmtewisselaar werd de lucht afgekoeld, waarna de lucht via een slang onder de teeltgoten de kas werd ingeblazen. De slang was geperforeerd met 4 rijen van 6 gaten per meter met een diameter van 16 mm. Aan het einde van de slang waren grotere gaten aangebracht om het gedeelte boven het betonpad goed te kunnen koelen. De ventilator was toerengeregeld. De gehele aansturing van de koeling werd gedaan via de klimaatcomputer.

Inrichting van de kas



Figuur 2.1. Schematische weergave van de inrichting van de kas met koeling.

2.2 Teeltverloop

Op 18 december 2009 zijn tomaten cv Cappricia geënt op Emperador per twee planten in een Grodan delta duoblok (15 x 10cm) in de kas gezet. Op elke substraatmat werden drie blokken geplant. De start van de teelt verliep normaal. Uit zeer frequente testen gedurende de gehele teelt bleek dat het gewas vrij gebleven is van pepino mozaïek virus. De teelt werd gestart met een plantdichtheid van 2.5 plant/m². In week 11 (half maart) werd bij één op de drie planten een stengel extra aangehouden zodat de stengeldichtheid uitkwam op 3.3 stengels/m². De trossen werden conform de praktijk tot en met de 6^e tros gebeugeld. Vanaf de tweede week van september werd weer gebeugeld.

De begeleidingscommissie onderzoek (BCO) heeft de proef circa tweewekelijks bezocht, in wisselende samenstelling. Er werd steeds gekeken naar de open kas als referentie en naar de meest extreme behandeling met langzame overgangen van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur. Een weergave van de bevindingen van de BCO is te vinden in bijlage I.

Conform de praktijk werden de eerste twee trossen op 5 vruchten gesnoeid, de volgende trossen op 6 vruchten per tros, vanaf eind augustus weer op 5 vruchten per tros en de laatste 3 trossen op 6 vruchten per tros. Tot begin mei werd er om de week een blaadje in de kop weggenomen, in de periode begin mei tot half juli werd dat niet gedaan, en vanaf half juli weer wel. Half september werd de kop uit de planten gehaald en op 15 november werden de laatste vruchten geoogst, waarna het gewas werd geruimd.

De behandelingen zijn gestart op 30 maart 2010 volgens onderstaande tabel.

Tabel 2.1. Overzicht van de behandelingen in de 5 afdelingen (vanaf 30 maart).

Afdeling	Benaming	Behandeling
8.04	Langzaam, langzaam	Semi-gesloten kas (350 W/m ² koelvermogen) Langzame overgang van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur CO ₂ doseercapaciteit 230 kg/ha/uur
8.05	Langzaam, snel	Semi-gesloten kas (350 W/m ² koelvermogen) Langzame overgang van nacht- naar dagtemperatuur CO ₂ doseercapaciteit 230 kg/ha/uur
8.06	Snel, snel	Semi-gesloten kas (350 W/m ² koelvermogen) CO ₂ doseercapaciteit 230 kg/ha/uur
8.07	Open kas	Open kas CO ₂ doseercapaciteit 230 kg/ha/uur
8.08	Ventilatie	Semi-gesloten kas (350 W/m ² koelvermogen) met strategie voor verminderde ventilatie CO ₂ doseercapaciteit 230 kg/ha/uur (na begin september 450 ppm)

In de open kas werd gekoeld door bij te hoog oplopende temperatuur de luchtramen te openen. De andere vier kasafdelingen waren semi-gesloten, waarbij de basis koellast werd verzorgd door luchtbehandelingskasten (LBK's). Wanneer de instraling hoger werd dan de koelcapaciteit van de LBK's (350 W/m²), en het setpoint voor ventilatie werd overschreden, werd additioneel gekoeld door de luchtramen te openen.

In uren dat alleen met LBK's werd gekoeld, was er geen uitwisseling met buitenlucht (afgezien van een beetje lekventilatie via kieren). Hierdoor was er geen afvoer van CO₂ en vocht. Wel verdween er vocht uit de lucht door condensatie op het koellichaam.

2.3 Klimaatregeling

De klimaatinstellingen voor temperatuur zijn per afdeling bepaald in overleg met de BCO, die tweewekelijks de proef bezocht. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op deze regeling. Het gerealiseerde klimaat wordt beschreven in hoofdstuk 3.

2.3.1 Koeling

De regeling van de koeling in de geconditioneerde kas is gebaseerd op een combinatie van luchtsnelheid en watertemperatuur om de gewenste kasluchttemperatuur te handhaven. In de Economic kan naast de verwarmings- en ventilatielijnen (gewenste verloop van de temperatuur) voor de koeling een extra lijn worden ingesteld. De klimaatcomputer zal de koeling dan zodanig sturen dat de gewenste koeltemperatuur wordt bereikt. Bij de verwarming en de ventilatie moeten naast het gewenste temperatuurniveau vervolgens nog worden aangegeven hoe de buistemperaturen worden geregeld, respectievelijk de ventilatie wordt geregeld. Bij de koeling moet worden aangegeven hoe de koelapparatuur wordt geregeld. De keuze daarbij is de snelheid van de luchtcirculatie en de aanvoertemperatuur van het koelwater. In de koelregeling is gekozen om vooral de luchtcirculatie als eerste te verhogen en de aanvoertemperatuur van het koelwater geleidelijk te verlagen. De luchtcirculatie is frequentie geregeld en levert een snel reagerende regeling op. Door bij het starten van de koeling de aanvoertemperatuur een paar graden onder de gewenste kastemperatuur te laten beginnen is bij weinig koeling de ingeblazen lucht slechts een paar graden onder de gewenste ruimte temperatuur. Zolang de ruimtetemperatuur boven de koeltemperatuur blijft zal door een integrerende regeling de aanvoertemperatuur van het koude water verlaagd worden tot een ingesteld minimum niveau is bereikt. Komt de ruimtetemperatuur onder de koeltemperatuur dan zal de aanvoertemperatuur geleidelijk weer stijgen.

2.3.2 Ontvochtiging

In een gesloten kas komt door verdamping van de plant vocht in de ruimte. In de open kas werd vocht afgevoerd via de luchtramen. In de semi-gesloten kassen kan vocht aan de kaslucht worden onttrokken met behulp van de luchtbehandelingskasten (LBK's). Hiertoe moet de temperatuur van de warmtewisselaar ingesteld worden beneden de dauwpunttemperatuur van de kaslucht. In de luchtbehandelingskasten in dit experiment was geen verwarming aanwezig. In dit experiment is daarom de LBK niet gebruikt voor de ontvochtiging. Bij ontvochtiging wordt namelijk koude lucht met een lage hoeveelheid absoluut vocht de kas ingeblazen. Om te voorkomen dat de kasluchttemperatuur te veel daalt, moet daarnaast verwarmd worden met de buizen, hetgeen energetisch ongunstig is.

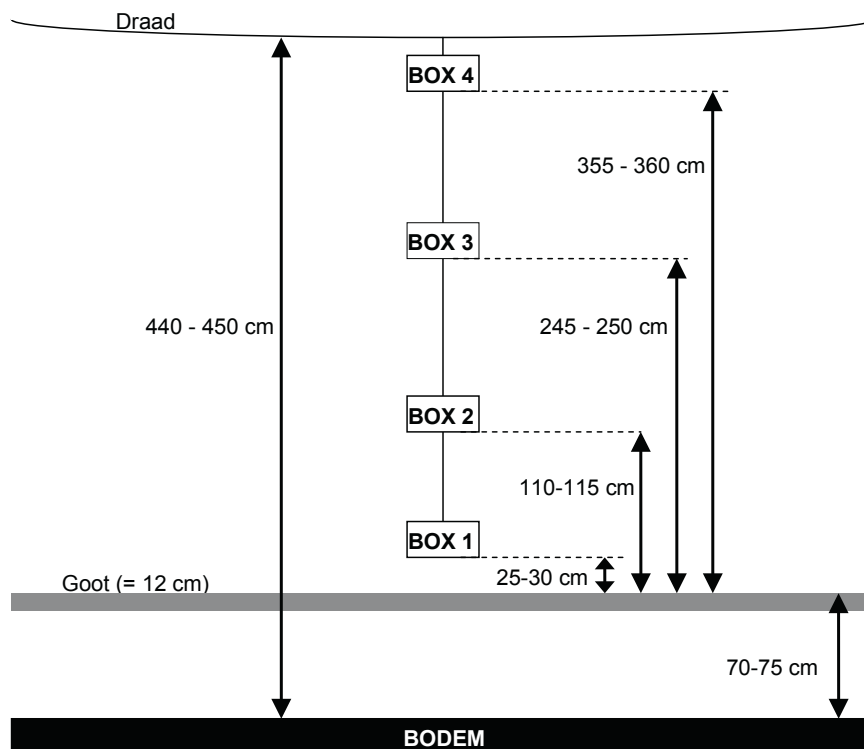
2.3.3 Klimaatregeling

Het klimaat werd geregeld met een Hoogendoorn Economic computer. Hierop waren ook alle sensoren aangesloten. Gemeten data werden opgeslagen en beschikbaar gemaakt via Letsgrow.

Voor regeling van temperatuur en luchtvochtigheid waren vier systemen aanwezig: buisverwarming, gewasverwarming (forcas groeibuis), luchtramen en koeling. In de klimaatcomputer werd voor iedere kas een lijn voor gewenste temperatuur ingesteld (setpoint). Ook werd ingesteld per kas hoe dit setpoint moest worden bereikt, dat wil zeggen met welk verwarmings- of koelsysteem, en volgens welke lijnen.

Op vier hoogtes in het gewas werd de temperatuur en luchtvochtigheid gemeten (Figuur 2.2.) met draadloze sensoren. Iedere sensor bestond uit een droge- & natte bol opnemer in een Hoogendoorn meetbox. De meetdata zijn opgeslagen als 5-minuut waarnemingen en beschikbaar gemaakt via Letsgrow.

De meetbox waar het klimaat op werd geregeld hing ter hoogte van het gewas, en ging met de kop van de plant mee omhoog. Op het moment dat de planten de draad hadden bereikt, was de hoogte van deze meetbox vergelijkbaar met meetbox 4 in Figuur 2.2.



Figuur 2.2. Schematische weergave van de posities van de meetboxen in de kas.

2.3.4 Behandelingen

Hieronder volgt een omschrijving van de behandelingen die in deze proef zijn toegepast, en hun verwachte effecten op het kasklimaat en het gewas.

1. Open kas (benaming = open kas). De temperatuurstrategie in hoofdlijnen:

Periode	Nacht	Morgen	Middag	Voornacht
December - januari	16.5 °C	17.5 °C	20	16.5
	Geen scherpe overgangen			
Februari - maart	17.5	18	20	15
	Sterk afluchten naar voornacht vanaf 45 minuten voor zon-onder			
April - mei	15	16	20	15
	Temperatuur naar middag niveau vanaf 10 uur. Sterk afluchten vanaf 45 minuten voor zon-onder			
Juni - september	15	16	20	15
	Door de zon zal de temperatuur s morgens al vroeg oplopen. In de middag wordt de ventilatie temperatuur na 12 uur verhoogd van 21 tot 23 °C			
Oktober - november	16	17	19	16
	Afrijpen met vrij constante temperatuur.			

De overgang van nacht naar morgen was vanaf zonop met een snelheid van 1 °C per uur. De overgang van morgen naar middag was zodanig dat om 12 uur de middagtemperatuur werd bereikt, eveneens met een overgang van 1 °C per uur. De overgang van middag naar voornacht was 45 minuten voor zononder. De overgang van voornacht naar nacht begon om middernacht.

In alle periodes werden te realiseren etmaaltemperaturen afhankelijk gemaakt van gerealiseerde stralingssom per etmaal. Een benadering: $\text{etmaaltemperatuur} = 17 + 1.5 \cdot \text{stralingssom in kJ/cm}^2\cdot\text{dag}$. Dit werd gerealiseerd door stralingssom afhankelijke ventilatie- en nachttemperaturen.

2. “Standaard” temperatuurstrategie, geconditioneerde kas (benaming = snel, snel)

In deze geconditioneerde kas (koelvermogen 350 W/m²) werden temperaturen aangehouden als in de open kas. De koeling werd gebruikt om zowel overdag als zonodig 's nachts de etmaaltemperatuur te drukken. De koeling werd niet ingezet om af te koelen naar de voornacht, dit werd via ventilatie gedaan. Verwachte effect op het gewas: in vergelijking met de open kas (behandeling 1) zal de CO₂-concentratie hoger zijn en mag de etmaaltemperatuur daarom iets hoger zijn, afhankelijk van de stand van het gewas. Dit zal leiden tot een hogere fotosynthese, aanmaak van assimilaten en groei (totale droge stof productie) en productie van tomaten.

3. Geconditioneerde kas met een temperatuurstrategie met een geleidelijke overgang van nacht- naar dagtemperatuur (benaming = langzaam, snel)

Bij deze behandeling werd ten opzichte van behandeling 2 de overgang van nacht- naar middagtemperatuur al bij zonop ingezet en geleidelijker gemaakt. Om op een zelfde ingestelde etmaaltemperatuur te komen, werd de hele temperatuurlijn iets lager gezet. Dus wel een gelijke DIF maar op een iets lager niveau (dit ligt in de orde van 0.1 °C).

Verwachte effect op het gewas: meer strekking van stengel, bladeren en trossteeltjes, een geleidelijke toename van de verdamping en watergebruik in de ochtend.

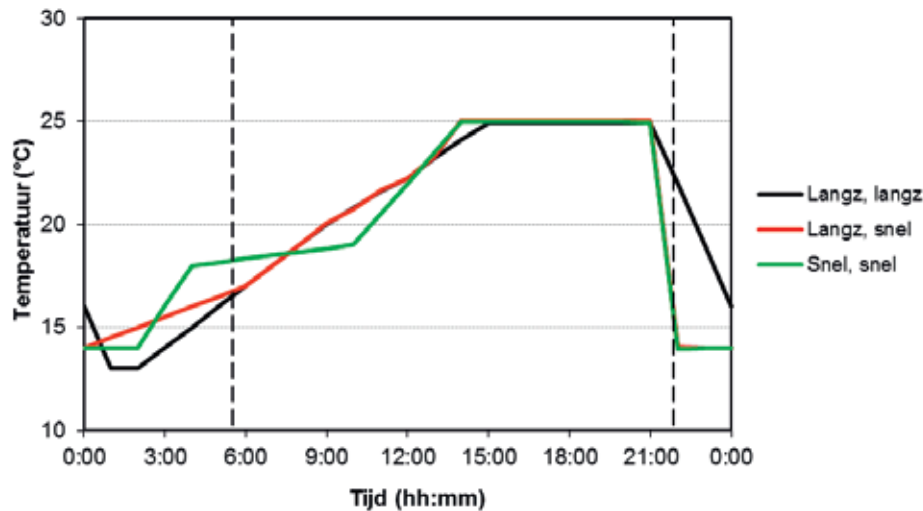
4. Als 2, met een temperatuurstrategie met geleidelijke overgangen van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur (benaming = langzaam, langzaam)

Bij deze behandeling werd de overgang van dag- naar nachttemperatuur geleidelijker gemaakt. In plaats van afluchten 45 minuten voor zon-onder werden de stook- en de ventilatielijn in 2 uur verlaagd van de middag naar de nacht temperatuur. De overgang van nacht- naar dagtemperatuur was hetzelfde als bij behandeling 3. Voor de etmaaltemperatuur gold hetzelfde als bij behandeling 3.

Verwacht effect op het gewas: de vruchttemperatuur neemt aan het einde van de dag minder snel af dan de temperatuur van de rest van de plant, celstrekking blijft daardoor langer doorgaan en de vruchtdiameter neemt toe. De verhouding generatieve/vegetatieve groei verandert daarmee en is er effect op gemiddeld vruchtgewicht. De verdamping en wateropname nemen geleidelijker af aan het einde van de dag.

De CO₂ doseercapaciteit is voor alle behandelingen maximaal 230 kg/ha/uur. De CO₂ dosering start 30 minuten na zon-op en eindigt 75 minuten voor zon-onder.

De temperatuurinstellingen van behandelingen 2, 3 en 4 staan weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 2.3. Instellingen van de temperatuur in de behandelingen “langzaam, langzaam” (standaard), “langzaam, snel” en “snel, snel”.

5. Als 2, met een efficiënter gebruik van CO₂ door verminderde ventilatie (benaming = ventilatie)

In deze behandeling werden de temperatuurovergangen van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur gehanteerd zoals in behandeling 2, maar werden overdag de ramen meer gesloten gehouden zodat bij een gegeven doseercapaciteit de CO₂ concentratie in de kas hoger kon oplopen. Als de temperatuur daarmee overdag hoger werd, werd dit in de nacht gecompenseerd om de etmaaltemperatuur gelijk te houden aan de andere behandelingen.

Verwacht effect op het gewas: Een hogere CO₂ concentratie zal leiden tot een hogere fotosynthese, meer assimilatenaanmaak, meer groei (hogere totale droge stof productie) en daarmee een hogere productie. Verder kan het gewas “generatiever” worden (minder blad, zwaardere vruchten), waardoor de verhouding vegetatieve/generatieve groei verandert.

Bij een controle bleek dat vanaf 8 juli in 8.08 (efficiënter CO₂) het klimaat stond van 8.05 (langzaam van nacht naar dag) in plaats van 8.06 (‘standaard’ temperatuurregime).

2.4 Metingen

2.4.1 Groei en ontwikkeling

Wekelijks werden van 16 planten per behandeling de volgende kenmerken gemeten:

- Kopdikte: stengeldiameter ter hoogte van de lengte van de plant in de voorgaande week (cm). Dit is ca. 25 cm onder de top van de plant.
- Bladlengte: lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros (cm)
- Drooggewicht van de geplukte bladeren (g)
- Lengtegroei: verschil in plantlengte tussen de vorige en deze week
- Bloei: registratie van de hoogst gelegen bloeiende bloem, uitgedrukt in trosnummer en bloemnummer
- Zetting: registratie van de hoogst gelegen gezette vrucht, uitgedrukt in trosnummer en vruchtnummer
- Oogst: registratie van het trosnummer dat geoogst werd, versgewicht van de tros en aantal vruchten per geoogste tros.
- Plantbelasting: aantal vruchten per m². Deze waarde wordt berekend uit de gegevens van zetting en oogst

Deze metingen werden gedaan aan twee telvakken van 8 planten. Het ene telvak lag aan de noordzijde van de rij, het andere telvak aan de zuidzijde.

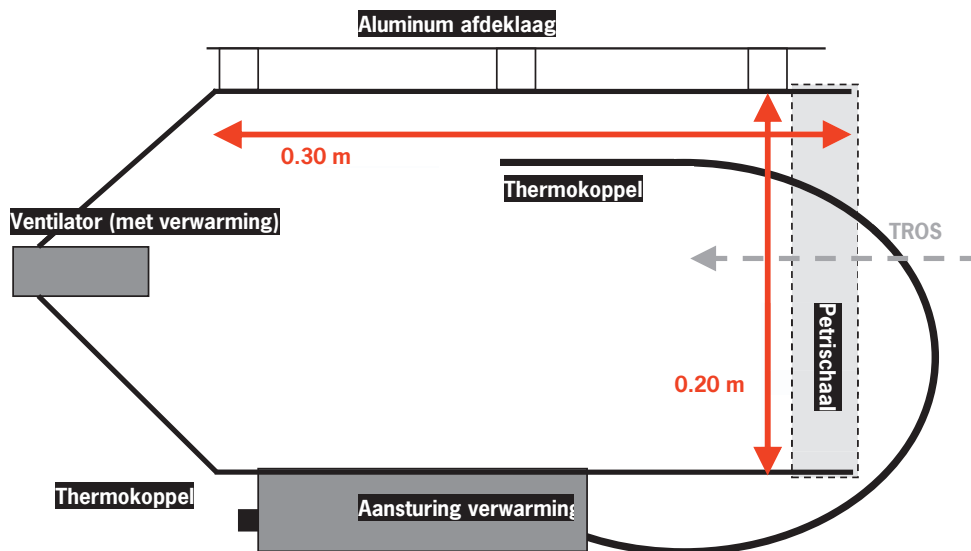
- Productie: aantal trossen, aantal vruchten en (vers)gewicht van de geoogste trossen, uitgedrukt per m². Hierbij is altijd gerekend met totale productie per afdeling gedeeld door het netto beteembare oppervlak van 120 m². Er werd niet gecorrigeerd voor planten die vanwege destructieve oogsten of Botrytis waren verwijderd.

Op 30 juni, 31 augustus en 31 oktober 2010 is de droge stof percentage van de vruchten bepaald door ze bij 80 °C te drogen gedurende enkele dagen.

Gedurende de proef is bij aanvang van de proef en op 29 maart, 31 mei, 21 juli, 14 september (2 kassen) en 8 november 2010 planten uit de kas gehaald en destructief geoogst. Van zowel bladeren, stengels als eventuele vruchten (aan de plant) werden vers- en drooggewichten bepaald. Van de bladeren werd het bladoppervlak bepaald.

2.4.2 Lokaal trossen verwarmen met cuvetten

Om na te gaan wat het effect is van het naverwarmen van trossen aan het einde van de dag, moet de temperatuur van de tros apart van de plant gestuurd kunnen worden. Daarvoor werden twee types cuvetten gebruikt, met en zonder verwarming (controle). Deze cuvetten (Figuur 2.4.) werden gemaakt van een doorzichtige Perspex buis, met een lengte van 30 cm en een doorsnede van 20 cm. In het uiteinde werd een ventilator met verwarming gemonteerd, aan het andere einde kon de tros in de cuvet worden geplaatst, waarna de cuvet werd afgesloten met een petrischaal met daarin een sleuf gefreesd.



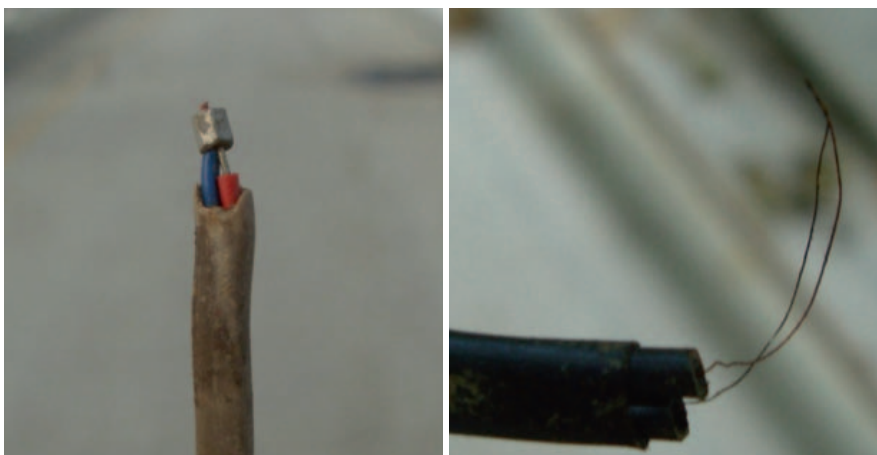
Figuur 2.4. Schematisch overzicht van een verwarmde cuvet.

De cuvetten waren uitgerust met twee thermokoppels. De eerste zat in de cuvet en de tweede was verbonden met de aan/uit schakelaar aan de onderzijde van de cuvet. De schakelaar kon zo ingesteld worden dat het de verwarming bij de ventilator aan- of uitschakelde bij een vastgesteld temperatuurverschil tussen de lucht binnen en buiten de cuvet. Op een display bij de schakelaar was de temperatuur van beide thermokoppels af te lezen. Bij zowel de verwarmde als de onverwarmde cuvetten liep de ventilator constant, om de uitwisseling van lucht met de kas constant te houden en de temperatuur in de cuvetten te kunnen beheersen.

Via de gleuf in de petrisschaal konden hommels in de cuvetten komen om de bloemen te bestuiven. Als een tros in de cuvet was geplaatst, werd de eerste 5 dagen handmatig getrild om voldoende bestuiving te krijgen. Ondanks dat bleek de vruchtzetting in de cuvetten achter te blijven, zodat uiteindelijk alle trossen in de cuvetten teruggezet werden op 4 vruchten per tros.

2.4.3 Orgaan temperatuur

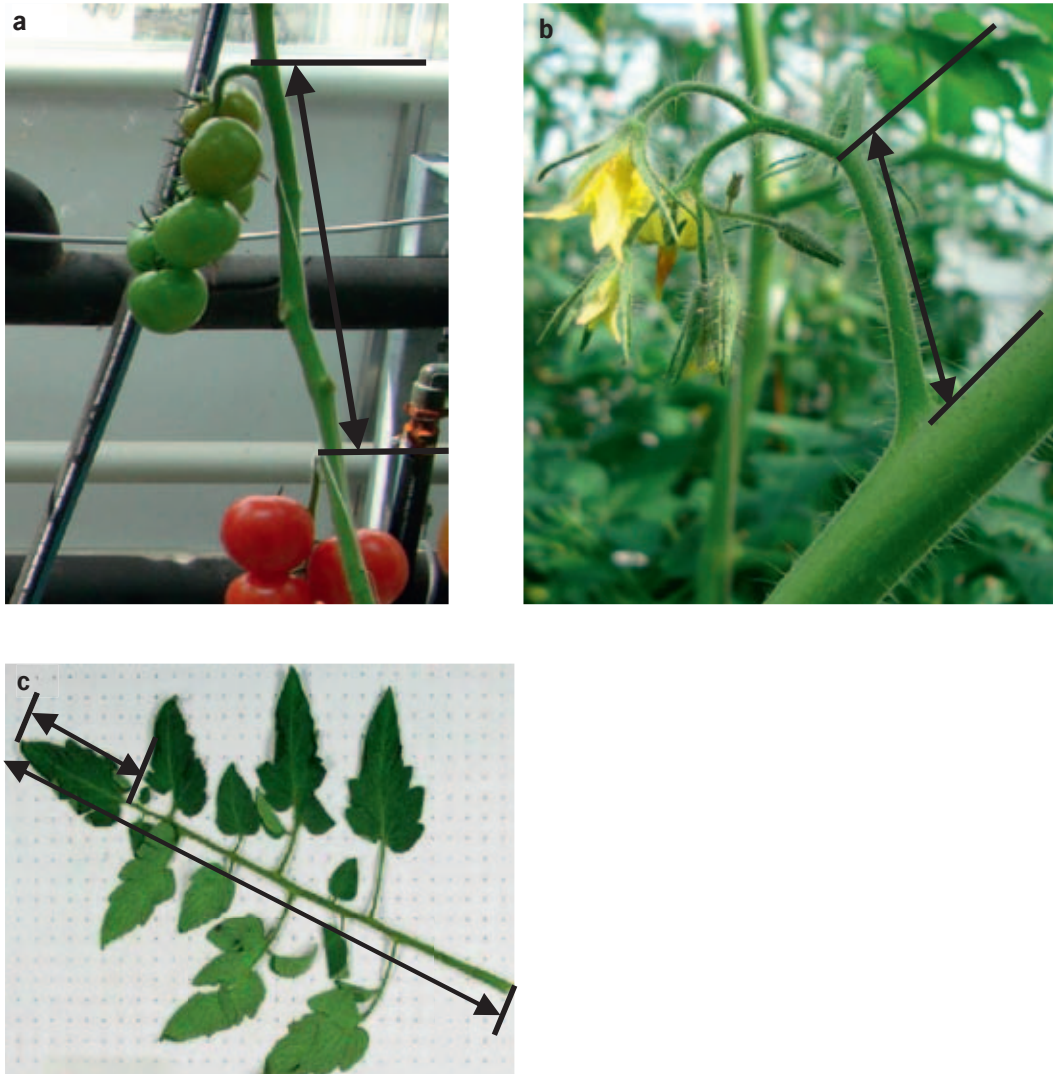
Om temperaturen van de vruchten te meten, werden T-type thermokoppels gebruikt (Figuur 2.5. links), die tot halverwege de vrucht werd gestoken. Om de bladtemperatuur te meten, werden thermokoppels tegen de onderkant van het blad geplaatst (Figuur 2.5. rechts). Het flexibele einde van de thermokoppel zorgde er voor dat de thermokoppel in direct contact met het blad bleef. De thermokoppels werden verbonden aan een datalogger (ATAL, ATM-05D), die de temperatuurgemiddeldes van 5 minuten oploeg.



Figuur 2.5. Thermokoppels gebruikt om vruchttemperatuur (links) en bladtemperatuur (rechts) te meten.

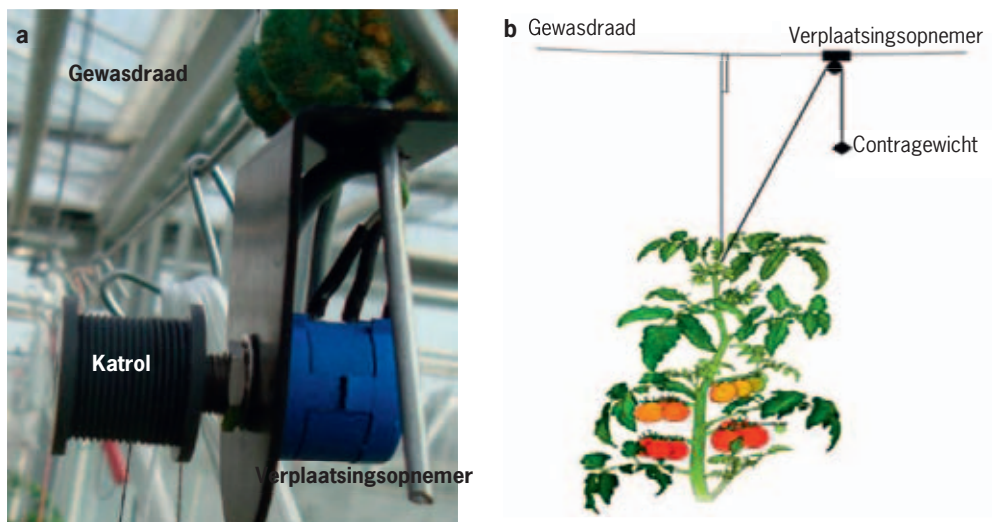
2.4.4 Lengtegroei

Om na te gaan wat het effect van de temperatuurstrategieën op strekking is, is gedurende de teelt twee maal, in de weken 14 – 17 (5 – 26 april) en 25 – 29 (21 juni – 19 juli) lengte gemeten van een segment (Figuur 2.6a), trossteel (Figuur 2.6b) en blad en topblaadje (Figuur 2.6c).



Figuur 2.6. Lengtemetingen van een segment tussen twee trossen (a), trossteel (b) en blad en topblaadje (c).

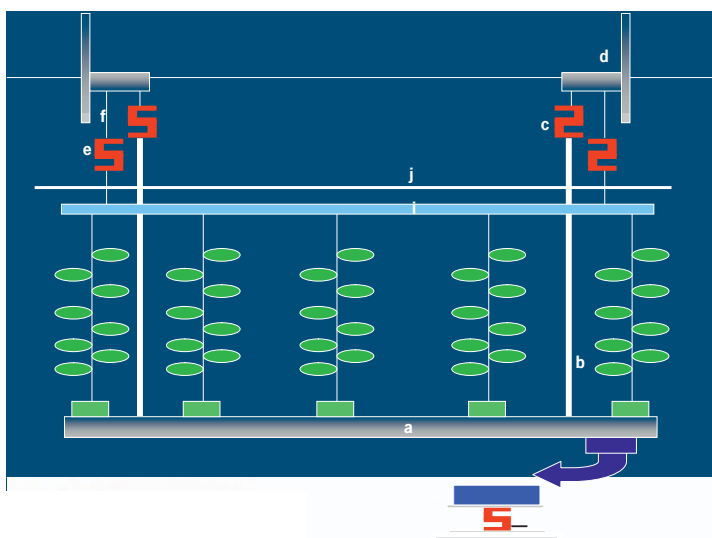
Om het dagpatroon van de lengtegroei van de planten te meten werd een verplaatsingsopnemer gebruikt (Figuur 2.7a). De verplaatsingsopnemer werd aan de gewasdraad gehangen. Aan de top van de plant werd een nylon draad vastgemaakt, dat aan de verplaatsingsopnemer werd bevestigd via een katrol met daaraan een contragewicht van 20g (Figuur 2.7b). Elke 10 minuten werd het signaal van de verplaatsingsopnemer via dataloggers opgeslagen.



Figuur 2.7. Lengtemetingen van de top van de plant via een verplaatsingsopnemer. (a) foto van een verplaatsingsopnemer met katrol aan de gewasdraad. (b) schematische weergave van een verplaatsingsopnemer aan de top van een plant.

2.4.5 Gewasverdamping

In dit experiment is een weeggoot voor tomaat gebruikt die bestaat uit een goot van 2.4 meter, een drainageopvangbak en twee gewasbalken van 5.0 meter. Voor het meten van het gewicht worden krachtopnemers gebruikt (Figuur 2.8. c en e) waarvan de weeggegevens per halve minuut worden weggeschreven in een databestand. De goot onderin het systeem meet het matgewicht. Met deze gegevens en de gegevens van de opvangbak van de drain (Figuur 2.8. g) kan de wateropname bepaald worden. De gewasbalk boven in het systeem meet het gewicht van de planten omdat ze los hangen. Door van de wateropname (gemeten met de goot en drainopvangbak) het versgewicht van de planten (gemeten met de weegbalk) af te trekken, wordt de verdamping berekend.

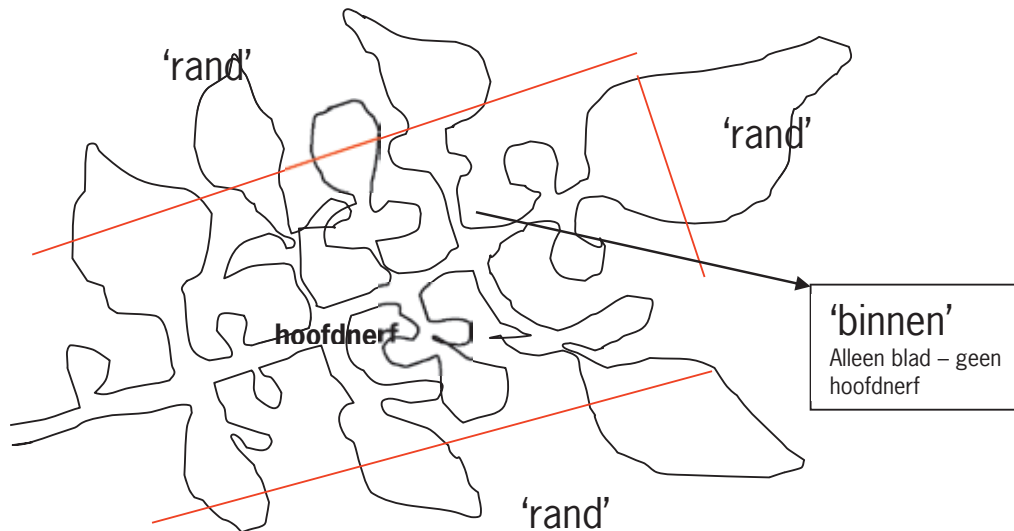


Figuur 2.8. Langsdoorsnede van een weeggoot met een fictief aantal planten. a = weeggoot, b = kabel waaraan de goot hangt, c = krachtopnemer waaraan de goot hangt, d = dragende kasdelen, e = krachtopnemer waaraan de gewasbalk hangt, f = kabel waaraan e hangt, g = drainopvangbak, h = krachtopnemer waarop de drainopvangbak staat, i = gewasbalk, j = doorlopende gewasdraad van de planten buiten het systeem (De Graaf et al., 2004).

Uit de dataset zijn dagen geselecteerd waarop er geen gewashandelingen uitgevoerd zijn (en dus geen verstoringen in de data van de meetgoot zijn) en waarop de weeggoten technisch probleemloos gefunctioneerd hebben. De data van deze dagen (18-20 juni, 25 – 27 juni, 17-19 juli en 1-3 augustus 2010) zijn in de analyse van de verdamping gebruikt.

2.4.6 Nutriënten

Op twee tijdstippen, t.w. 4 juli en 4 september zijn bladeren en vruchten uit het gewas genomen en zijn de nutriëntengehaltes van deze bladeren en vruchten gemeten. De bladschijven van het jonge blad (blad bij hoogste bloeiende tros) en het oude blad (laagste blad aan het plant) werden verdeeld in rand (uiterst randje van het blad) en binnen (blad naast de hoofdnerf) voordat ze geanalyseerd werden (Figuur 2.9.). De monsters werden genomen uit drie kassen; de open kas, de semi gesloten kas (snel, snel) en de kas met minder ventilatie.



Figuur 2.9. Weergave van de verdeling van het blad voor analyse van de nutriëntengehaltes.

De vruchten die geanalyseerd werden, waren de tweede vruchten aan een rijpe tros. De vruchten zijn opgedeeld in twee lagen met laag 1 (2/3 van de vrucht) bij de steel en laag 2 (1/3 van de vrucht) aan het uiteinde van de vrucht.

2.4.7 Fotosynthese

Netto bladfotosynthese werd gemeten met twee draagbare fotosynthesemeters (LCPro, ADC, Verenigd Koninkrijk) aan bladeren op verschillende hoogtes in het gewas. De meeste fotosynthesemetingen werden gedaan aan de bovenste bladlaag, dat is het bovenste bijna volgroeide blad, dat niet beschadwd werd door hoger gelegen bladeren. Bij metingen gedaan op verschillende hoogtes in het gewas, werd de LAI in 5 delen verdeeld, en werd gemeten ter hoogte van dit deel van de LAI.

De fotosynthesemeter meet de CO₂ concentratie en de dampspanning van de lucht die de bladkamer binnenkomt en van de uitgaande lucht. Op basis van het verschil in CO₂ concentratie wordt de netto fotosynthesesnelheid ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) berekend. Op basis van het verschil in dampspanning worden verdamping en stomataire geleidbaarheid berekend.

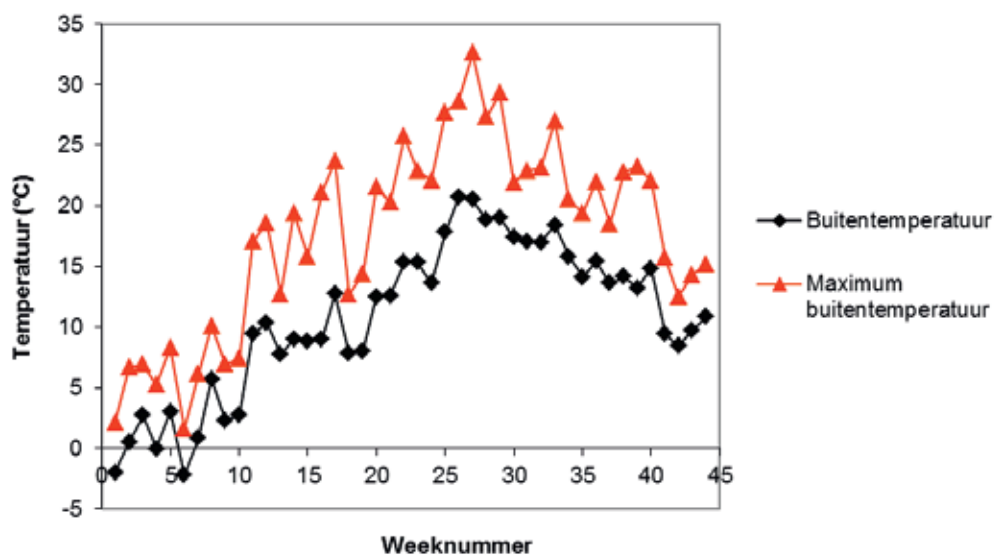
2.4.8 Houdbaarheid

De houdbaarheid in dagen werd bij tomaten afkomstig uit alle afdelingen op 2 inzetdata, namelijk op 8 juli en 2 september bepaald bij 8 trossen uit elke kasafdeling. De bewaring vond plaats bij een temperatuur en RV van respectievelijk 20 °C en 80%. De stevigheid werd 3 maal per week met de hand bepaald. Wanneer de tomaat onvoldoende stevig of rot werd bevonden, was het einde van het uitstalleven bereikt.

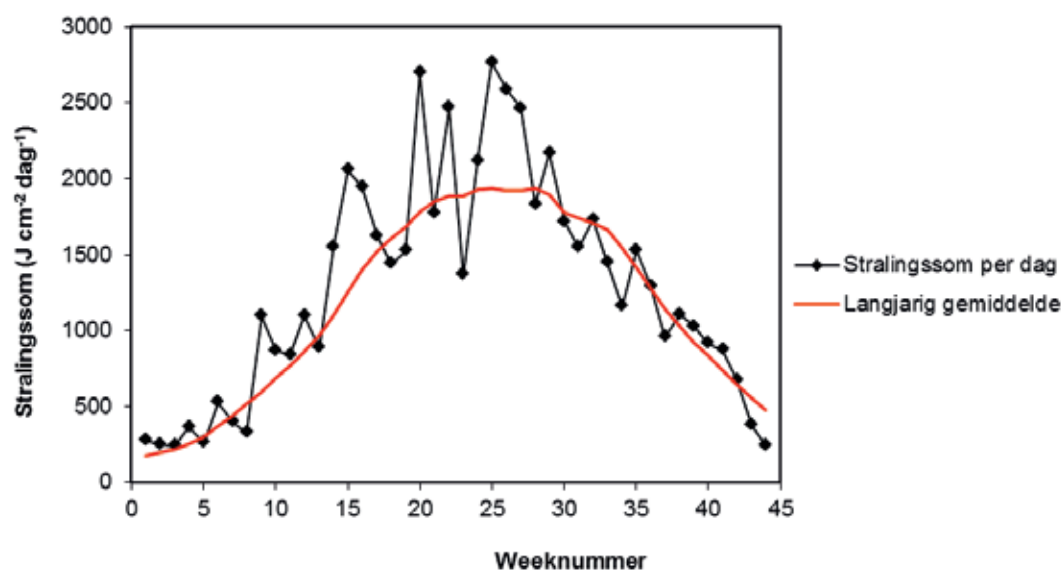
3 Resultaten – Kasklimaat

In dit hoofdstuk wordt een algemeen beeld gegeven van het gerealiseerde kasklimaat in de vijf behandelingen en worden bijzondere situaties apart besproken. De grote hoeveelheid data van vijf afdelingen is alleen in een beknopte weergave te presenteren door een selectie uit de gegevens te maken die de belangrijkste verschillen tussen de afdelingen illustreren en waar voor de praktijk toepassingen uit volgen.

Het kasklimaat in de afdelingen is een resultante van het buitenklimaat en de inzet van de instrumenten om het klimaat te sturen. Het buitenklimaat in 2010 is te typeren als een relatief warm jaar met een zeer warme zomer vooral van half juni tot half juli (weken 25 – 29; Figuur 3.1.). De winterperiode was koud. In mei en juni zijn er grote schommelingen in de straling, maar het voorjaar was gemiddeld erg zonnig (Figuur 3.2.). Vanaf de langste dag is de maximum buitentemperatuur en dus ook het gemiddeld buitentemperatuur behoorlijk hoog geweest.



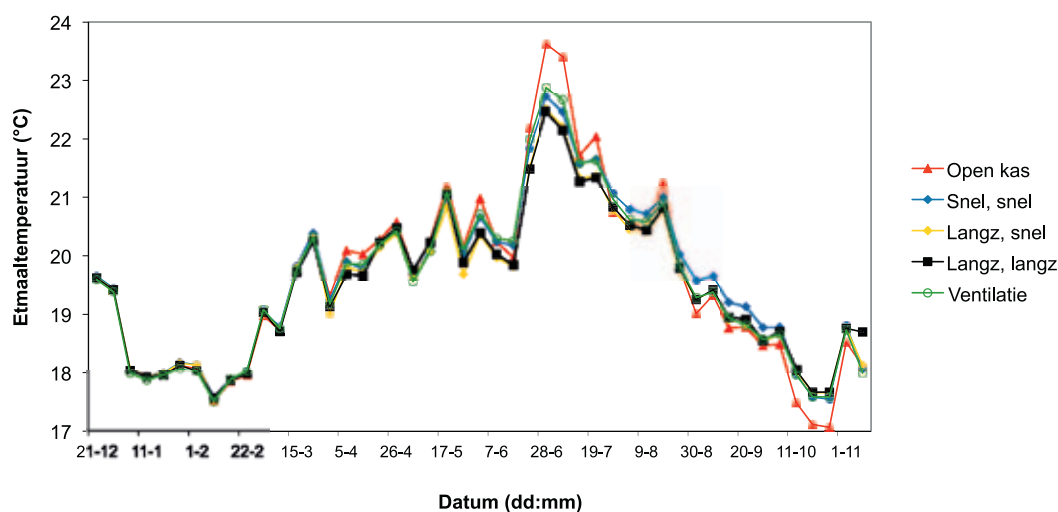
Figuur 3.1. Het verloop van de gemiddelde temperatuur en maximumtemperatuur buiten gedurende de teelt



Figuur 3.2. Het verloop van de stralingssom per dag gedurende de teelt en het langjarig gemiddelde van de stralingssom.

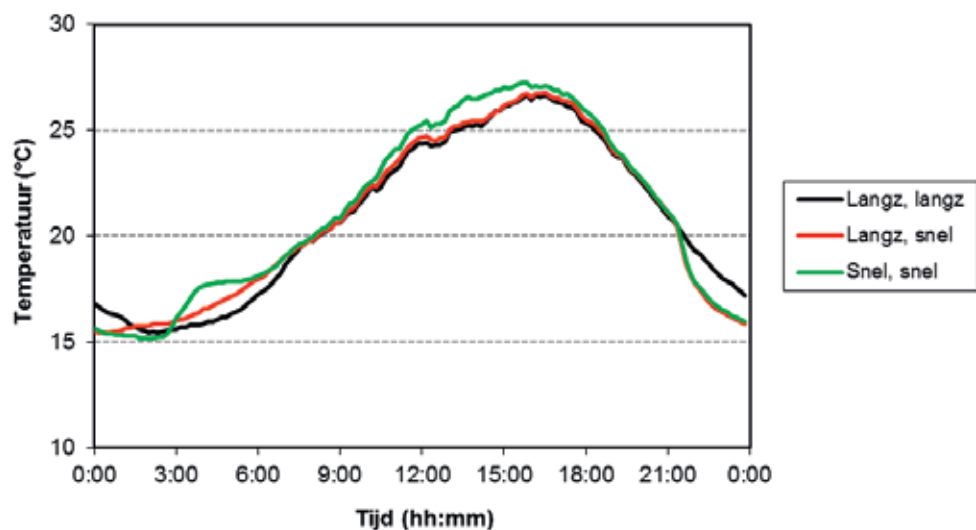
3.1 Gerealiseerde temperatuur

In het begin van de teelt is in alle afdelingen de temperatuurstrategie gelijk geweest. Vanaf eind maart (week 13) zijn er verschillen tussen de behandelingen aangelegd zoals omschreven in paragraaf 2.3. In overleg met de BCO zijn tijdens de teelt een aantal malen kleine aanpassingen in de temperatuurstrategie uitgevoerd, waarbij de verschillen tussen de behandelingen bewaard bleven. In de geconditioneerde afdelingen is koeling ingezet in plaats van ventilatie. Hierdoor is er een verschil in CO₂-concentratie te verwachten. Meer CO₂ betekent dat er meer groei mogelijk is en daarom een hogere etmaaltemperatuur aangehouden kan worden. In deze teelt zijn de gemiddelde weektemperaturen redelijk gelijk (Figuur 3.3.). Over het algemeen is de open kas gemiddeld warmer in de zomer dan de geconditioneerde afdelingen. Vanaf half juni is de open afdeling warmer dan de geconditioneerde afdelingen. In deze proef zijn de verschillen in de temperatuur tussen de afdelingen niet alleen te vinden tussen de open en gesloten afdelingen maar met name in het verloop van de temperatuur over de dag.



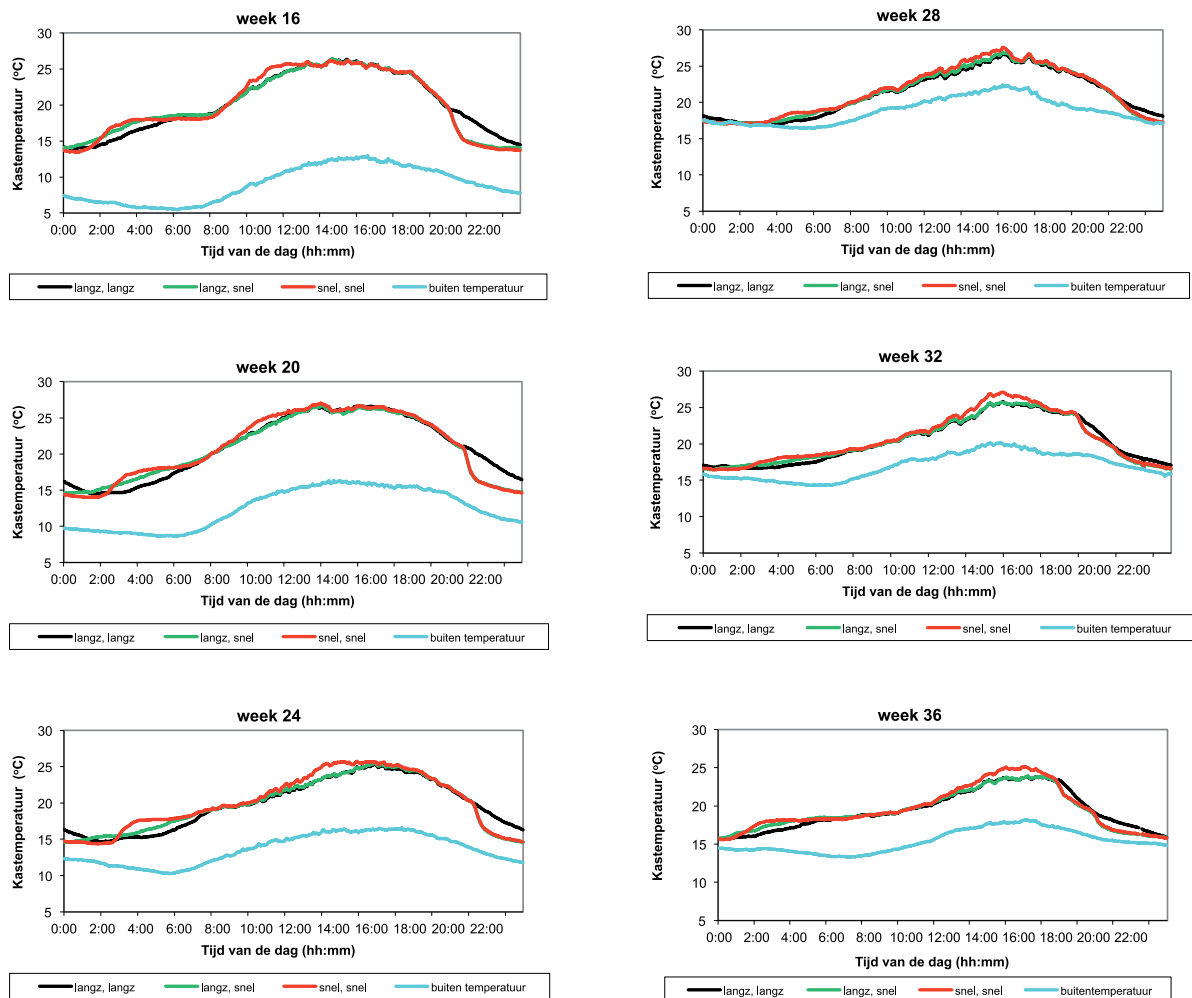
Figuur 3.3. Het verloop van de gemiddelde temperatuur per week in de 5 afdelingen.

De verschillen in temperatuurverloop over de dag zijn ingesteld zoals weergegeven in Figuur 2.2. In Figuur 3.4. is het cyclisch verloop van de temperatuur over een etmaal weergegeven voor de weken 24 en 25, rond de langste dag voor de temperatuurstrategieën snel, snel, langzaam, snel en langzaam, langzaam. Daarin is te zien dat de temperatuurbehandelingen goed gerealiseerd werden.



Figuur 3.4. Het verloop van de kasluchttemperatuur over de dag gemiddeld over de periode 14 – 28 juni 2010.

Om het verloop van de temperatuurstrategieën in de tijd te bekijken is het cyclische verloop van de gemiddelde temperaturen per dag over een periode van 7 dagen voor de weken 16, 20, 24, 28, 32 en 36 uitgewerkt (Figuur 3.5.). Ook is de buitentemperatuur in deze grafieken zichtbaar. Over het algemeen werden de temperatuurstrategieën goed gerealiseerd. In Figuur 3.5. is te zien dat de behandelingen verschillen in de ochtend en in de avond. In de weken 28 en 32 was de buitentemperatuur aan het einde van de dag zo hoog, dat het effect van de ramen ver open zetten om de temperatuur snel te laten dalen beperkt was. Dat hield in dat in die weken de temperatuur aan het einde van de dag niet snel teruggebracht kon worden, waardoor er weinig verschil was tussen de behandelingen die snel of langzaam afkoelden.

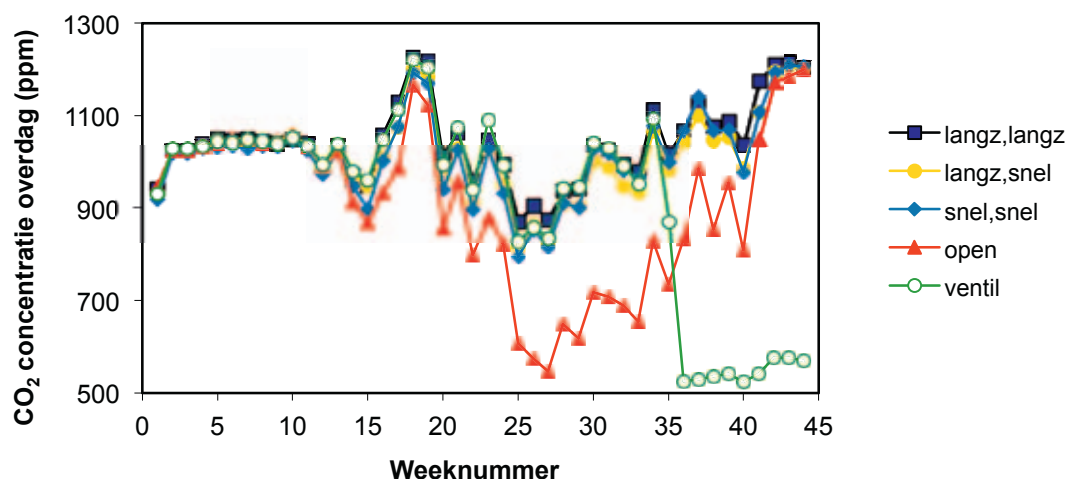


Figuur 3.5. Het cyclisch verloop van de gemiddelde temperatuur voor een aantal weken.

3.2 CO₂-concentratie en dosering

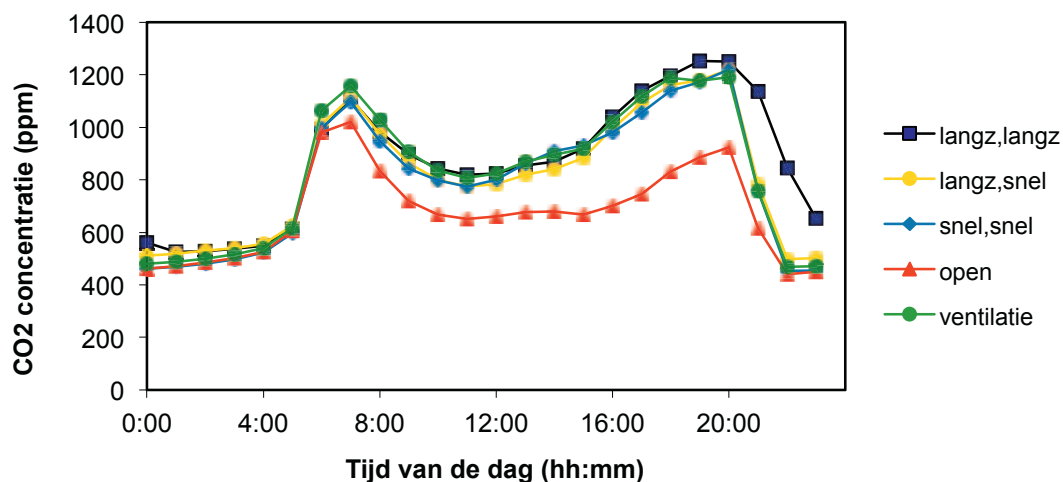
Het verloop van de CO₂-concentratie in de kassen is te zien in Figuur 3.6. Op 23 april is op advies van de BCO de streefwaarde verhoogd van 950 ppm tot 1150 ppm in alle afdelingen. Op 3 september is in de afdeling met verminderde ventilatie de CO₂ concentratie gemaximaliseerd op 450 ppm.

Er werd nauwelijks een verschil gerealiseerd tussen de behandeling met verminderde ventilatie en de andere geconditioneerde afdelingen. Om duidelijke effecten op de groei te krijgen is in deze afdeling begin september de maximale CO₂ concentratie verlaagd naar 450 ppm met een doseercapaciteit van 100 kg/uur/ha in plaats van 230 kg/uur/ha.



Figuur 3.6. Verloop van de gemiddelde weekwaarde van de CO₂ concentratie tijdens de dagperiode.

Gedurende de dag is er een duidelijk verloop van de CO₂ concentratie (Figuur 3.7.). In de nacht ligt het niveau rond de 500 ppm in alle afdelingen. In de ochtend wordt gestart met CO₂ doseren. Zo gauw de ramen openen ontstaan de verschillen in CO₂ concentratie, met name tussen de open kas en de geconditioneerde afdelingen. Tussen ca. 10:00 en 17:00 uur liggen de CO₂ concentraties in de geconditioneerde kassen tussen de 870 en 910 ppm, terwijl in die periode de CO₂ concentratie in de open kas ca. 680 ppm is. Aan het einde van de dag is te zien dat de CO₂ concentratie in de afdeling die langzaam afkoelt (dus waar de ramen niet snel en ver geopend worden) langer hoog blijft dan in de drie geconditioneerde afdelingen die snel afgekoeld worden aan het einde van de dag door de ramen te openen.



Figuur 3.7. Verloop van de gemiddelde CO₂ concentratie gedurende de dag gemiddeld voor de periode 1 mei – 31 augustus.

In de open kas is meer CO₂ gebruikt dan in de geconditioneerde afdelingen (Tabel 3.1.), ondanks de gerealiseerde verschillen in CO₂ concentraties (Figuur 3.6.). In de kas met verminderde ventilatie is 1-3 kg/m² minder gedoseerd dan in de andere geconditioneerde kassen door het langer dichthouden van de ventilatieramen. De totale hoeveelheid gedoseerd CO₂ is berekend tot eind augustus omdat begin september de CO₂-dosering verlaagd is in de kas met verminderde ventilatie.

Tabel 3.1. De totale hoeveelheid gedoseerd CO₂ per behandeling tot eind augustus 2010

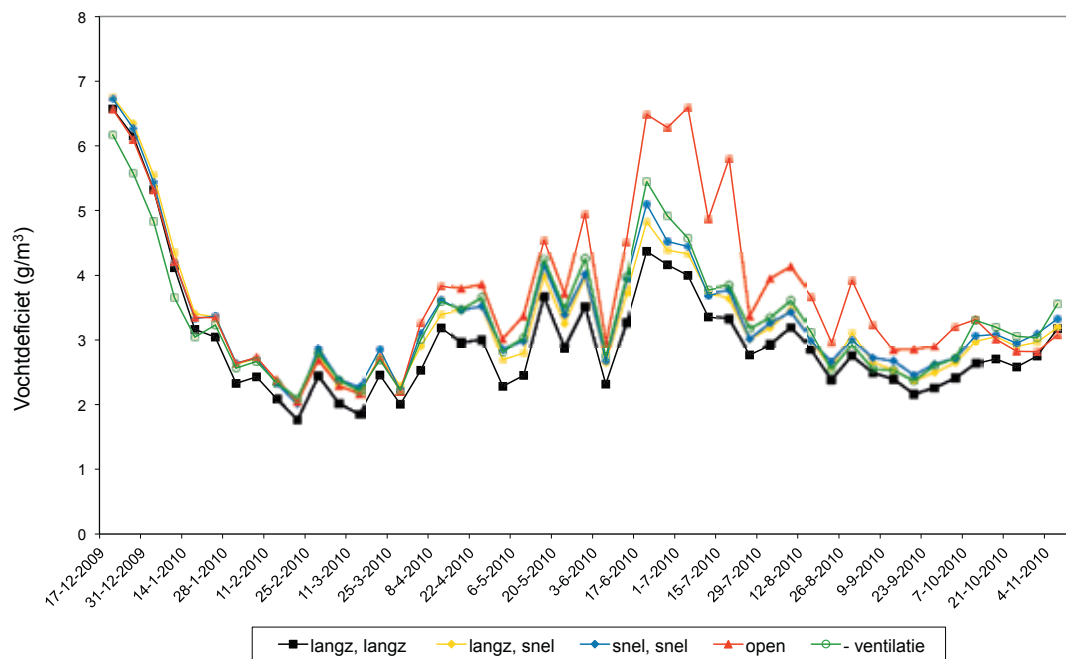
Koeling Behandeling	350 W/m ² langz,langz	350 W/m ² langz,snel	350 W/m ² snel,snel	Open kas	350 W/m ² ventilatie
Kg/m ²	33.3	34.3	34.4	41.6	31.7

3.3 Luchtvochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid is in de open kas in de zomer duidelijk lager dan in de geconditioneerde afdelingen (Figuur 3.8.). Voor het vochtdeficit van de kaslucht gelden vergelijkbare verschillen, waarbij in de open kas het vochtdeficit hoger is dan in de geconditioneerde afdelingen (Figuur 3.9.). Vooral begin juli met vele instraling, zijn deze verschillen groot. Van de geconditioneerde afdelingen is met name de afdeling waarin langzaam opgewarmd wordt en langzaam afgekoeld (langzaam, langzaam) het vochtdeficit lager (de kas is vochtiger).

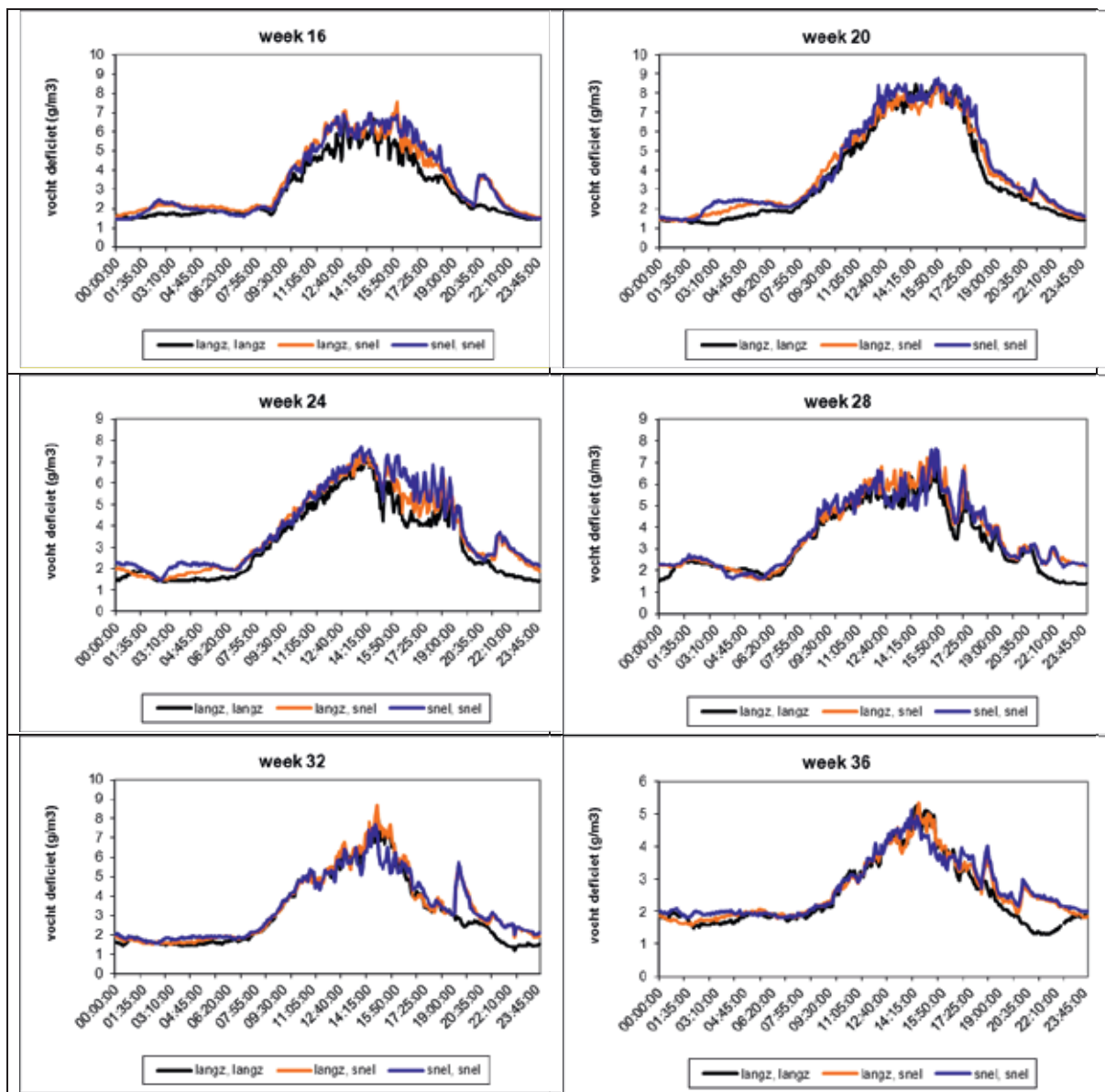


Figuur 3.8. Verloop van de weekgemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid van de kaslucht.

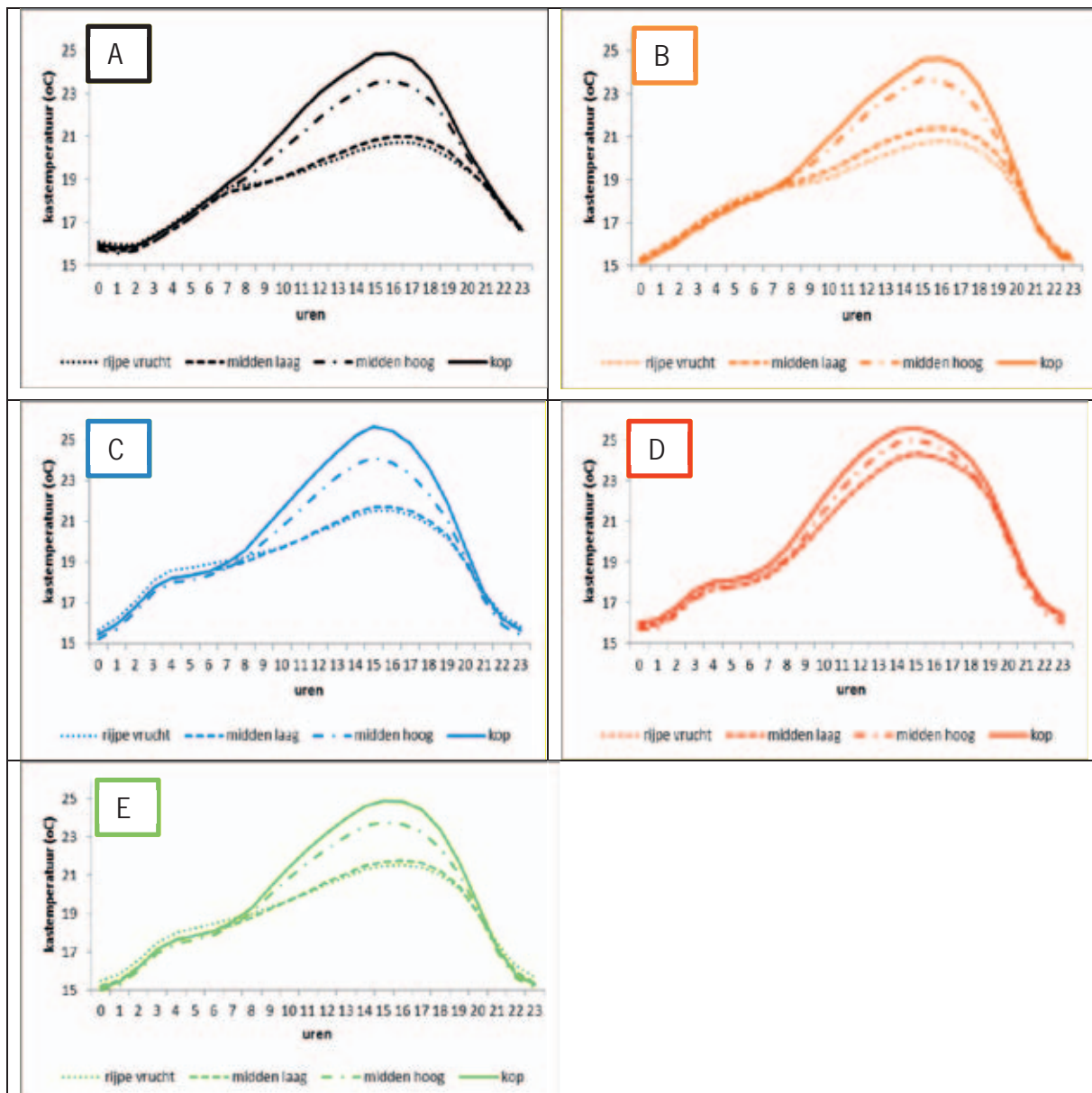


Figuur 3.9. Verloop van de weekgemiddelden van het vochtdeficiet van de kaslucht.

Om verschillen in luchtvochtigheid gedurende de dag te bekijken is het cyclische verloop van de vochtdeficiet gedurende één week uitgerekend (Figuur 3.Figuur 1.10.) voor de weken 16, 20, 24, 28, 32 en 36. Vooral de kas waarin langzaam opgewarmd en langzaam afgekoeld werd had een hogere luchtvochtigheid (lager vochtdeficiet) dan de overige twee temperatuurbehandelingen. Dit was ook te zien in de weekgemiddelden in Figuur 3.8. Bij zonsopkomst, maar vooral in de zomer na zonsondergang en in de nacht is luchtvochtigheid hoger in de kas waarin langzaam opgewarmd en afgekoeld werd. In de afdelingen waar snel wordt afgekoeld is een piek in vochtdeficiet te zien, die wordt veroorzaakt doordat op het moment dat de ramen snel ver worden geopend, er koele en droge lucht binnen komt, waardoor de luchtvochtigheid daalt en het vochtdeficiet toeneemt. De mate waarin dit gebeurt hangt af van de buitentemperatuur en de luchtvochtigheid buiten.



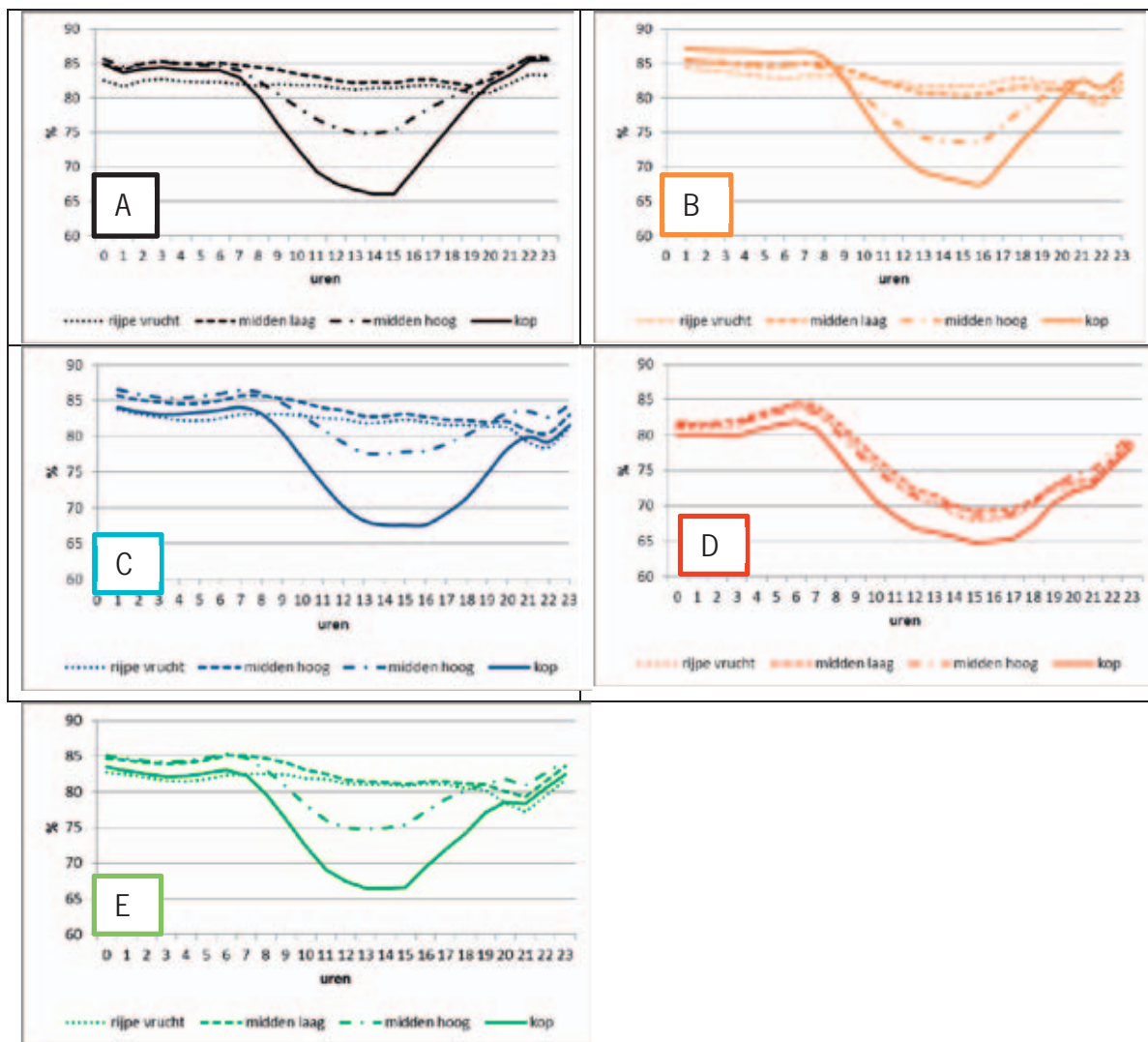
Figuur 3.10. Het cyclisch verloop van de gemiddelde vochtdeficiet voor een aantal weken.



Figuur 3.11. Verticale temperatuurgradiënten gemeten op vier hoogtes in de behandelingen langzaam, langzaam (A), langzaam, snel (B), snel, snel (C), open kas (D) en de kas met verminderde ventilatie (E) gemiddeld over de maanden april tot en met september.

3.4 Verticale gradiënten in temperatuur en luchtvochtigheid

Gedurende de teelt is de temperatuur en luchtvochtigheid geregistreerd op 4 verschillende hoogtes in het gewas. In Figuur 3.11. is het cyclische temperatuurverloop per uur uitgezet op de vier hoogtes in de 5 behandelingen. Deze waarden zijn gemiddeld over de maanden april tot en met september. Uit deze figuur blijkt dat de verticale temperatuurgradiënt in de vier geconditioneerde kassen vergelijkbaar is, en in deze periode oploopt tot ca. 5 °C. In de open kas is er nauwelijks een verticale temperatuurgradiënt aanwezig, deze blijft beperkt tot ca. 1.5 °C.



Figuur 3.12. Verticale gradiënten van de luchtvochtigheid gemeten op vier hoogtes in de behandelingen langzaam, langzaam (A), langzaam, snel (B), snel, snel (C), open kas (D) en de kas met verminderde ventilatie (E) gemiddeld over de maanden april tot en met september.

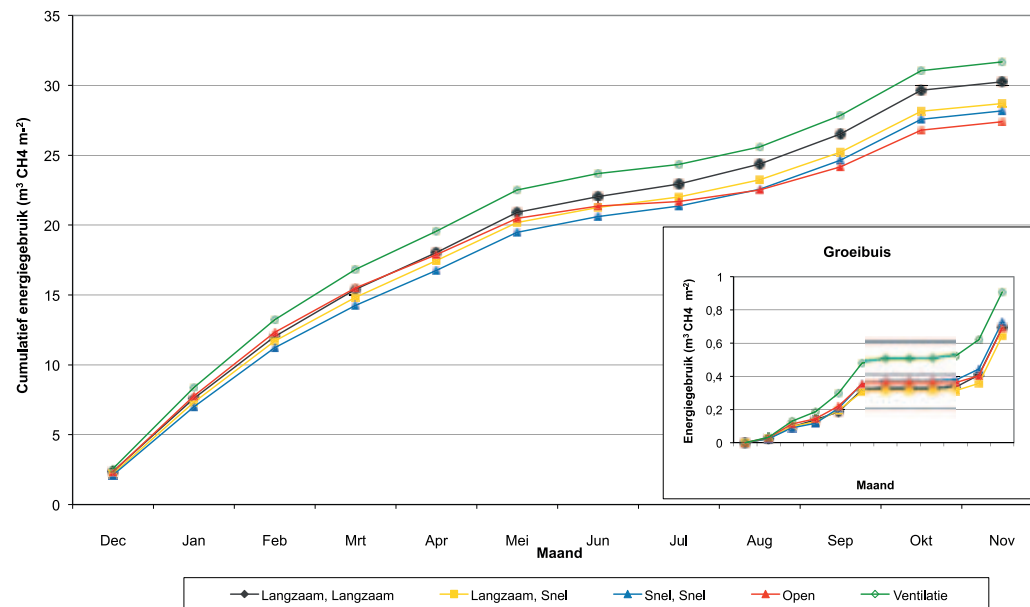
3.5 Energie voor verwarmen en koelen

Om de kas op temperatuur te houden is uiteraard gas gebruikt. De hoeveelheid warmte die in de kas is gebracht is berekend met de methode van Nawrocki (1985) op basis van de gemeten buistemperatuur per 5 minuten. De groeibuis is gebruikt in de periode van planten tot mei, en in de laatste twee maanden van de teelt. Het energiegebruik van de groeibuis is met 1 m³ slechts ca. 3% van het totale energiegebruik (Figuur 3.13.).

Voor de beheersing van het vocht is gewerkt met ventilatie via de luchtramen en niet met de koelinstallatie. In het eerste jaar van het project gewasmanagement is de koelinstallatie gebruikt om de lucht actief te ontvochtigen. Dat heeft toen tot gevolg gehad dat er meer koude nodig was, maar ook meer warmte om de te sterk afgekoelde lucht weer op te warmen. Omdat de vochtbeheersing via de luchtramen is gegaan is de warmte en koudevraag in 2010 kleiner dan in de proef van 2008, maar is er ook minder warmte geogst omdat de latente warmte die in vocht zit via de luchtramen de kas uitging.

Tabel 3.2. Relatieve inzet van energie in de vijf afdelingen. De input van energie in de open kas is op 100% gesteld.

	Langzaam, langzaam	Langzaam, snel	Snel, snel	Open kas	Verminderd ventilatie
Groeibuis	100%	93%	106%	100%	132%
Buisrail	111%	105%	103%	100%	115%
Totaal	110%	105%	103%	100%	116%



Figuur 3.15. Cumulatief totaal gasgebruik en cumulatief gasgebruik van de groeibuis (inzet) in de 5 behandelingen.

Het energiegebruik voor verwarmen was hoger in de minder geventileerde kas. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat hiernaast een koele freesia kas lag, waardoor de tomatenafdeling een koude geval had, waardoor extra energie gebruikt moest worden om de temperatuur op het gewenste niveau te houden.

Bij koelen van de kas wordt warmte geoogst, dit was voor de behandeling langzaam, langzaam 31.2 m³ aardgas per m², voor langzaam, snel 29.3 m³/m², voor snel, snel 31.4 m³/m² en voor de behandeling met minder ventilatie 31.7 m³/m².

3.6 Conclusies klimaat

Het jaar 2010 was een relatief warm en zonnig jaar, met een warme periode van half juni tot half juli. Gedurende die periode was de temperatuur in de open kas het hoogst, omdat uitsluitend koeling via de ventilatieramen onvoldoende was om de temperatuur op het gewenste niveau te houden. De aangelegde temperatuurbehandelingen, die varieerden in de opstooksnelheid aan het begin van de dag of de afkoelsnelheid aan het einde van de dag werden goed gerealiseerd, op enkele dagen na waarop de buitentemperaturen nog zo hoog waren aan het einde van de dag dat ook het snel de ramen ver openen niet leidde tot een snelle daling van de kasluchttemperatuur.

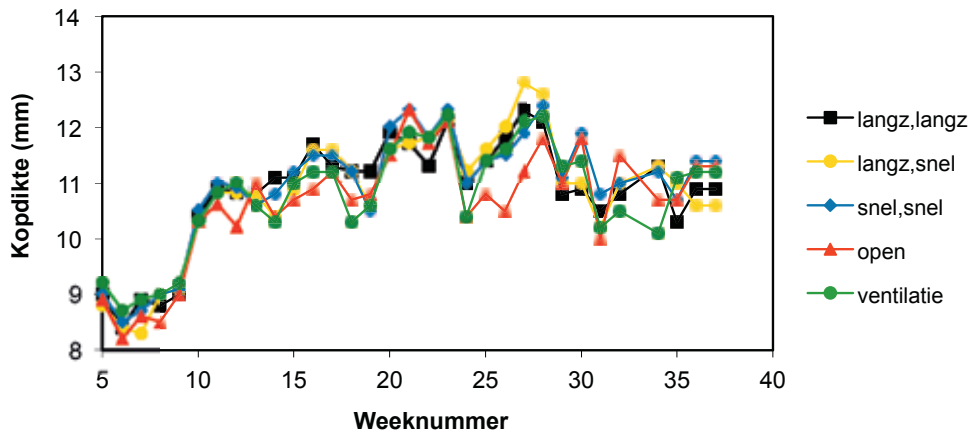
In de geconditioneerde kassen werden verticale temperatuur- en vochtigheidsgradiënten gerealiseerd. Bij de kop van het gewas was het in de geconditioneerde kas tot ca. 5 °C hoger dan bij de goot, terwijl dit temperatuurverschil in de open kas gemiddeld maximaal 1.5 °C was.

In de geconditioneerde kassen is tot augustus ca. 8 kg CO₂ per ha per uur minder gedoseerd dan in de open kas, terwijl de CO₂ concentraties hoger bleven omdat minder geventileerd werd. Door minder te ventileren werd daarboven nog een hogere efficiëntie van de gedoseerde CO₂ bereikt.

4 Resultaten – gewas

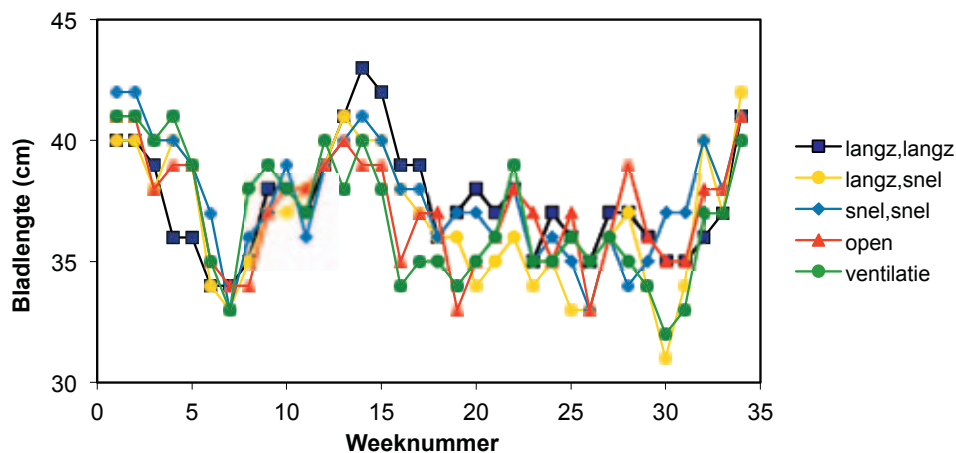
4.1 Vegetatieve groei

Gedurende het experiment zijn van een aantal planten de kopdikte, bladlengte en lengtegroei gevolgd. Vanaf week 10 nam de instraling flink toe (Figuur 3.1.), hetgeen terug te zien is in de kopdikte. Er is in de eerste weken daarna weinig verschil in temperatuur en CO₂ gehaltes tussen de open kas en de geconditioneerde afdelingen, hetgeen resulteert in beperkte verschillen in kopdikte. In juni en juli loopt de temperatuur met name in de open kas sterk op en is de CO₂ concentratie daar lager dan in de geconditioneerde afdelingen. Dat is terug te zien in dunnere koppen in de open kas (Figuur 4.1.).



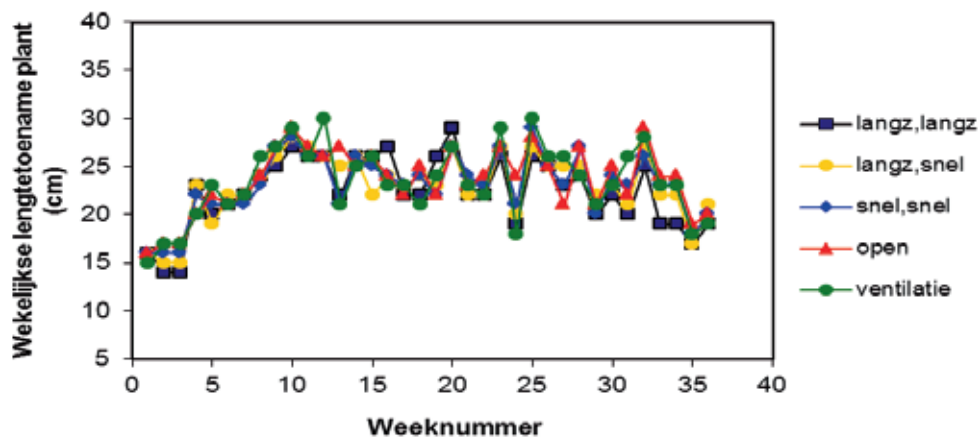
Figuur 4.1. Verloop van de diameter van de stengel (kopdikte) bij de verschillende behandelingen in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

Gedurende de teelt werd wekelijks van 16 meetplanten de lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros gemeten. De bladlengte bleek gedurende de teelt vrij constant te zijn, en verschilde nauwelijks tussen de verschillende behandelingen (Figuur 4.2.). Gemiddeld over de maanden mei – eind augustus (weken 18 – 35) was de bladlengte het laagst voor de behandelingen langzaam, snel en verminderde ventilatie (35.2 cm) en het hoogst voor de behandelingen langzaam, langzaam (36.5 cm) en snel, snel (36.4 cm).

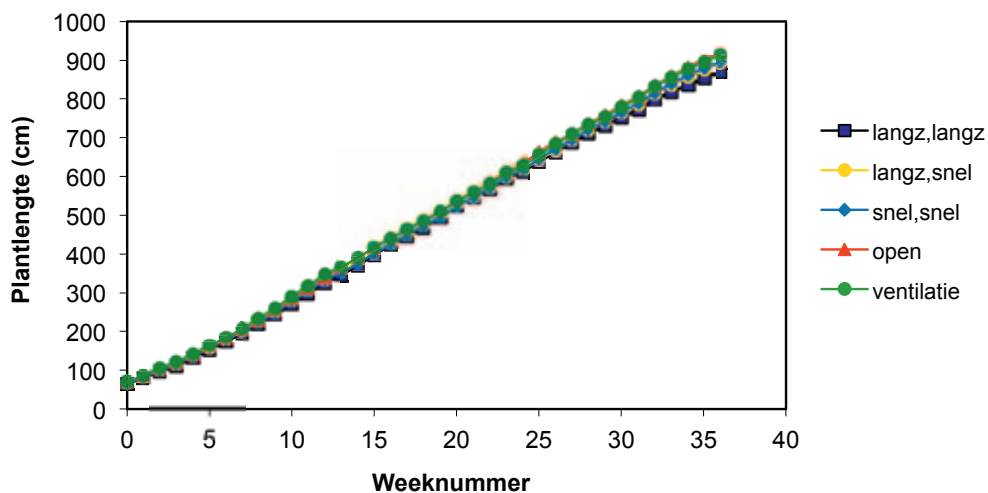


Figuur 4.2. Verloop van de lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros bij de verschillende behandelingen in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

De wekelijkse toename van de plantlengte varieert tussen 20 en 30 cm, maar verschilt weinig tussen de behandelingen (Figuur 4.3.). Dit resulteert in een verloop van de totale plantlengte in de tijd, met beperkte verschillen tussen de behandelingen (Figuur 4.4.). De totale plantlengte was het minst voor de behandeling langzaam, langzaam (8.70 m) en het grootst in de open kas (9.19 m).



Figuur 4.3. Verloop van de wekelijkse lengtegroei bij de verschillende behandelingen in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.



Figuur 4.4. Verloop van de totale plantlengte bij de verschillende behandelingen in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

Samenvattend geldt dat de vegetatieve kenmerken van de planten in zowel de open kas als in de geconditioneerde afdelingen met de verschillende temperatuurstrategieën niet meetbaar van elkaar verschilden.

4.1.1 Botrytis

In de geconditioneerde afdelingen werden vanaf begin juni bladrandjes geconstateerd, meer dan in de open kas. Vervolgens werd in de afdeling met langzame temperatuurovergangen vanaf begin juni Botrytis waargenomen op de bladranden, en vervolgens ook op de stengels. In de afdeling snel/snel werd vanaf eind juli Botrytis geconstateerd en in de behandeling langzaam/snel een week later ook. Eind augustus volgden de eerste planten in de afdeling met uitgestelde ventilatie, en vanaf eind september werden er enkele planten verwijderd uit de open kas. In Tabel 4.3. staat de totale uitval van stengels door Botrytis aan het einde van de proef weergegeven. In de geconditioneerde afdelingen waren de planten gevoeliger voor bladrandjes en daardoor voor Botrytis dan in de open kas. Regelmatig zijn bladpunten van bladeren met bladrandjes met daarop Botrytis zoveel mogelijk van de planten verwijderd.

Tabel 4.3. Uitval van stengels aan het einde van het experiment door Botrytis aantasting.

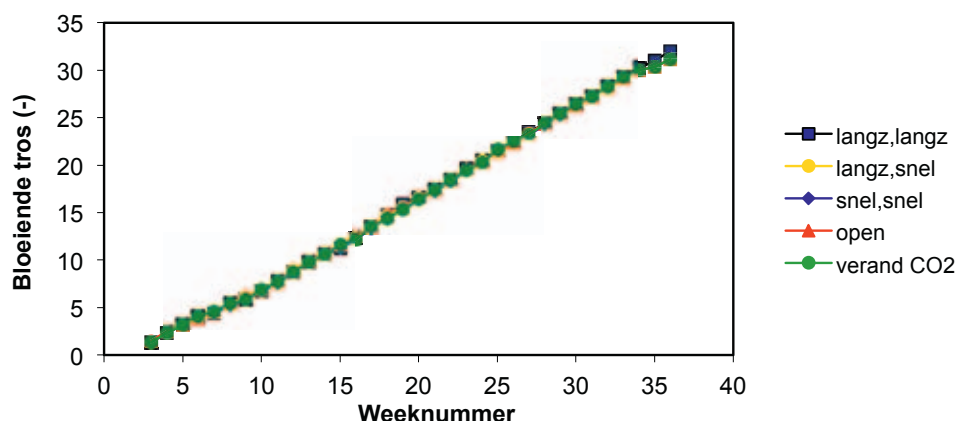
Behandeling	Uitval aan einde proef (% van stengels)
Open kas	4
Langzaam, langzaam	15
Langzaam, snel	17
Snel, snel	23
Veranderend CO ₂	14

Het aantal planten dat verwijderd is vanwege Botrytis aantasting was in de geconditioneerde afdelingen fors hoger dan in de open kas, waarschijnlijk door een hogere luchtvochtigheid. De Botrytis infectie was het eerst aanwezig in de afdeling langzaam/langzaam, waarbij het idee was dat dit met name werd veroorzaakt door het feit dat in die afdeling aan het einde van de dag de luchtvochtigheid hoog bleef, doordat daar niet snel naar de nachttemperatuur gelucht werd (Figuur 3.7.). Uiteindelijk bleek dat deze periode van de dag niet de enige verklarende factor was: ook de andere geconditioneerde afdelingen, die wel snel afgelucht werden aan het einde van de dag, hadden te kampen met forse aantastingen van Botrytis.

Het feit dat er Botrytis infecties waren, en dat er daarom planten verwijderd zijn uit de kas, heeft effect gehad op de productie. Hoe groot dit effect is geweest, is moeilijk te zeggen omdat naburige planten geprofiteerd zullen hebben van meer licht, en daarmee meer geproduceerd zullen hebben.

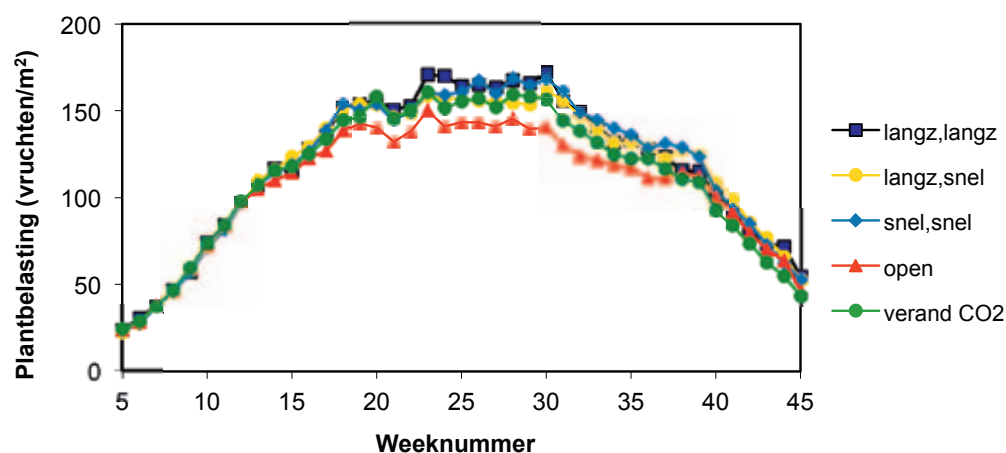
4.2 Resultaten - Generatieve groei en ontwikkeling

Gedurende de teelt werd ca. 1 tros per week aangelegd. Dit resulteerde voor alle behandelingen in 32 trossen die aan de plant gevormd waren op het moment dat de planten getopt werden (half september) (Figuur 4.5.).



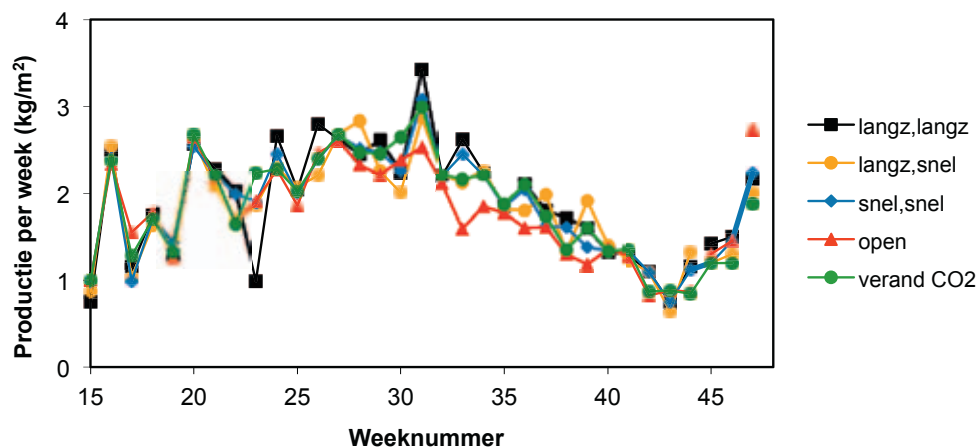
Figuur 4.5. Verloop van het aantal trossen (geregistreerd op het moment van bloei) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

Op moment dat de bloeiende trossen vrucht gaan zetten, neemt de plantbelasting (aantal vruchten per m^2) toe (Figuur 4.6.). Vanaf week 13 begon de oogst. Nadat de behandelingen gestart zijn (week 13) is er een verschil te zien in plantbelasting tussen de open kas en de geconditioneerde afdelingen. De geconditioneerde afdelingen verschillen nauwelijks van elkaar in plantbelasting, tot het moment dat de CO_2 concentratie in de minder geventileerde behandeling verlaagd werd (week 35). Op dat moment loopt de plantbelasting in die afdeling snel terug.

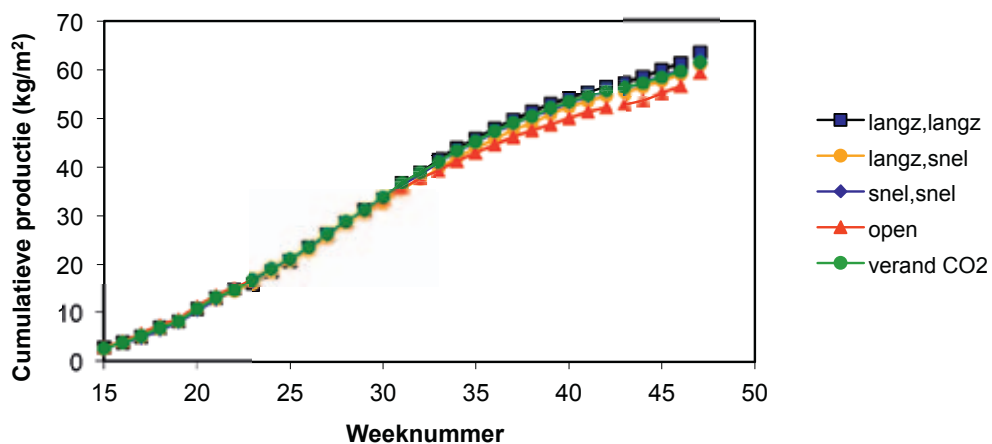


Figuur 4.6. Verloop van de plantbelasting (aantal vruchten per m^2) bij de verschillende behandelingen in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

In Figuur 4.7. staat de productie per week uitgezet. De productie verschilde sterk van week tot week, afhankelijk van de hoeveelheid instraling in de voorgaande periode. In de laatste week van de teelt werden de planten leeggeogst, hetgeen de hoge producties in die week verklaart. De cumulatieve producties in de verschillende behandelingen zijn weergegeven in Figuur 4.8.



Figuur 4.7. Verloop van de productie per week (kg per m^2) bij de verschillende behandelingen in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.



Figuur 4.8. Verloop van de totale productie (kg per m^2) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

In alle behandelingen kwamen kniktrossen voor. Uit tellingen op 9 juni bleek dat de meeste kniktrossen (26%) gevonden werden in de behandelings langzaam, langzaam en de minste in de behandeling met minder ventilatie (15%). In de open kas en beide andere geconditioneerde afdelingen kwamen 19% kniktrossen voor.

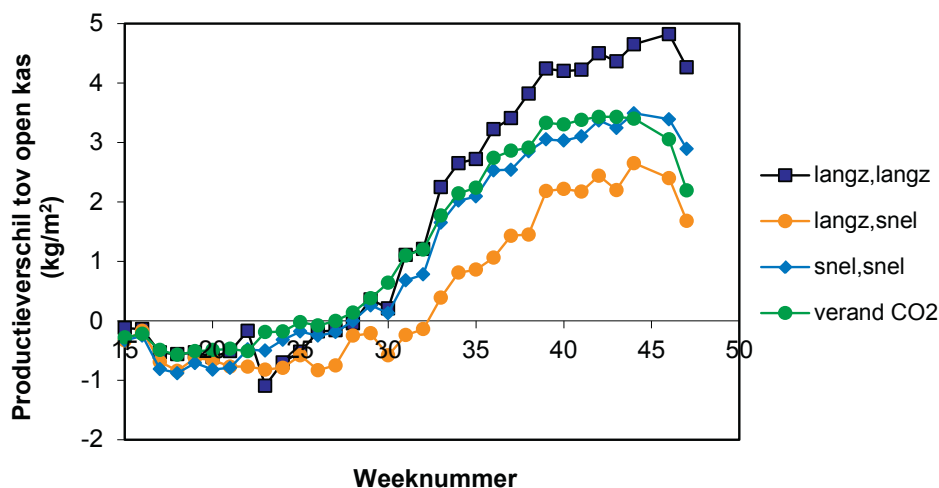
In de open kas werd een productie gehaald van 59.2 kg/m^2 . De producties in de geconditioneerde afdelingen liggen 3 – 7% hoger dan de productie in de open kas (Tabel 4.1.).

Tabel 4.1. Totale producties (in kg/m²) en de procentuele productiestijgingen ten opzichte van de open kas.

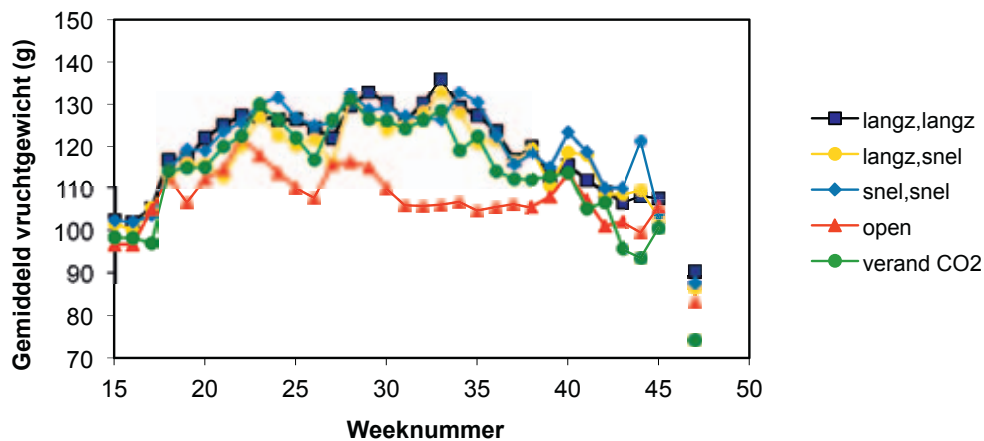
Behandeling	Productie (kg/m ²)	Productiestijging t.o.v. open kas (%)
Open kas	59.2	-
Langzaam, langzaam	63.5	7
Langzaam, snel	60.9	3
Snel, snel	62.1	5
Veranderend CO ₂	61.4	4

Om goed te kunnen zien wat er gebeurt met het verloop van de producties is in Figuur 4.9. het verschil in productie van de behandelingen ten opzichte van de open kas weergegeven. Daaruit blijkt duidelijk dat de productie in alle geconditioneerde afdelingen tot week 28 (voor de behandeling langzaam/snel tot week 32) ca. 1 kg/m² achterloopt ten opzichte van de open kas. Deze vertraging wordt mede veroorzaakt door de lagere vruchttemperatuur als gevolg van de koeling onderin, resulterend in een hogere plantbelasting en een hoger gemiddeld vruchtgewicht. Pas vanaf ca. week 30 wordt er verschil gemaakt in productie in de geconditioneerde afdelingen ten opzichte van de open kas. De reden hiervoor zijn de verschillen in CO₂ concentraties: vanaf week 20 is het verschil in CO₂ concentratie tussen de open kas en de geconditioneerde afdelingen ca. 100 ppm, vanaf week 25 is het verschil 200 tot 300 ppm (Figuur 3.6.).

De (kleine) verschillen in productie tussen de behandelingen langzaam/langzaam, langzaam/snel en snel/snel worden niet veroorzaakt door een verschil in aantal aangelegde trossen (zie Figuur 4.5.), maar wel door het gemiddeld vruchtgewicht (Figuur 4.10. en Tabel 4.2.), dat het hoogst is voor de behandelingen langzaam/langzaam en snel/snel, en het laagst voor de open kas.



Figuur 4.9. Verloop van het productieverschil (kg per m²) van de verschillende behandelingen met de open kas in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplant, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.



Figuur 4.10. Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht van de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2009) zijn de tomaten geplaatst, in week 13 zijn de behandelingen begonnen.

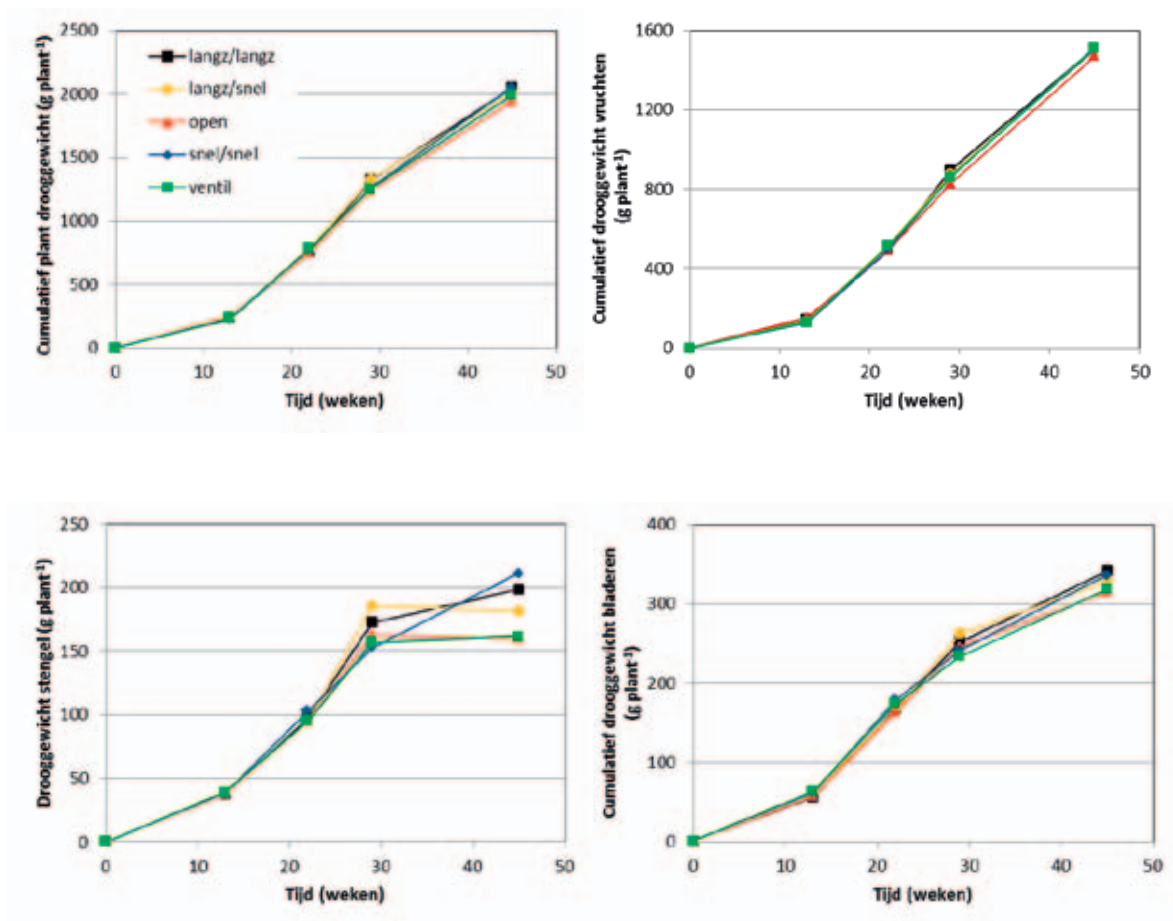
Tabel 4.2. Gemiddeld vruchtgewicht gedurende de teelt en in de zomermaanden.

Behandeling	Gemiddeld vruchtgewicht (g/vrucht)	
	Hele teelt	Weken 20-39
Open kas	108	111
Langzaam, langzaam	119	126
Langzaam, snel	116	122
Snel, snel	119	126
Veranderend CO ₂	114	122

4.3 Destructieve oogsten

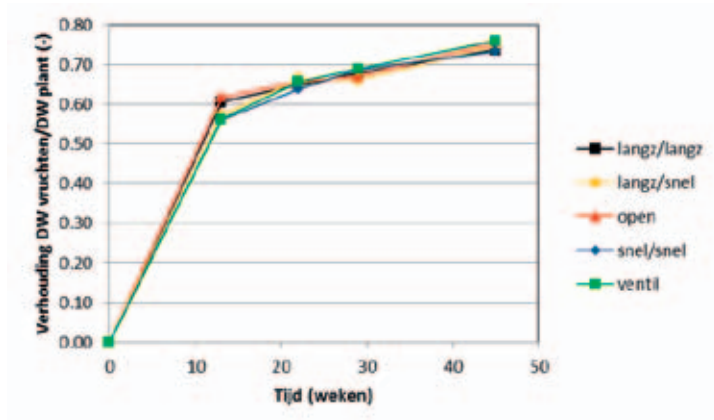
Op de plantdatum, bij de eind oogst en op drie tussenliggende momenten gedurende de teelt werd een aantal van te voren door loting bepaalde planten uit de kas verwijderd en destructief geoogst. De planten werden ontleed in organen (bladeren, stengels en vruchten) waarvan de vers- en drooggewichten werden bepaald. Van de bladeren werd het bladoppervlak gemeten. Uit het bladoppervlak en het droog bladgewicht werd het specifieke bladgewicht (SLA) afgeleid. Dit laatste is een maat voor de dikte van de bladschijf. Uit de gewichtsverdeling over de organen werd afgeleid hoe de drogestofverdeling naar de organen was, waarbij de verdeling naar de vruchten erg belangrijk is. Door gewichten bij elkaar op te tellen (waarbij de gewichten van de geoogste vruchten en geplukte bladeren werden meegeteld) werden de cumulatieve orgaangewichten en het cumulatieve plantgewicht over de tijd berekend.

De cumulatieve gewichten van de plant, en de vruchten, stengel en bladeren van alle behandelingen staan weergegeven in Figuur 4.11. De cumulatieve plant drooggewichten van de behandelingen langzaam/langzaam, langzaam/snel en snel/snel zijn ca. 5% hoger dan de cumulatieve drooggewichten van de planten uit de open kas. Dat betekent dat de groeiomstandigheden in deze afdelingen beter waren dan in de open kas, en dat er meer assimilaten zijn gevormd in de geconditioneerde afdelingen.



Figuur 4.11. Cumulatieve orgaangewichten voor de totale plant, vruchten, stengels en bladeren voor alle behandelingen.

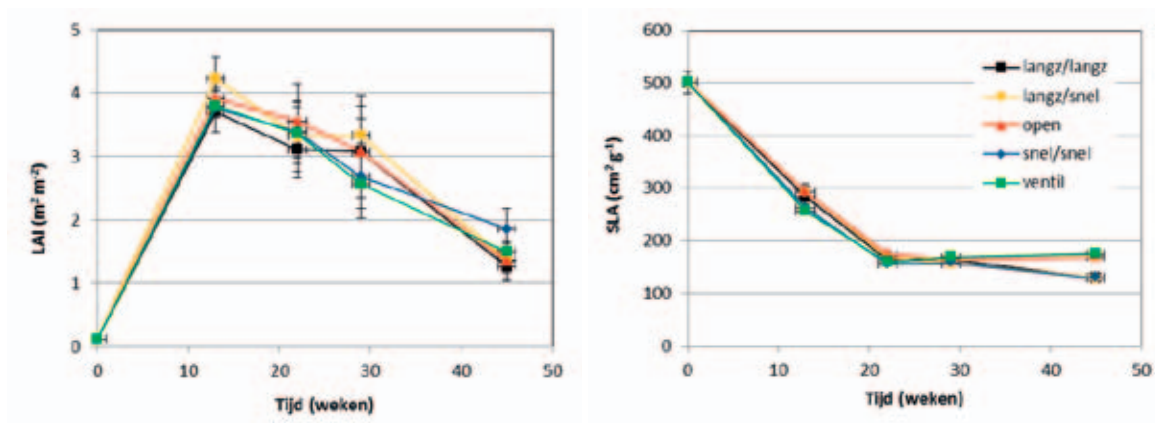
Uit Figuur 4.12. is te zien dat het aandeel vruchtgewicht op het totale plantgewicht snel toeneemt in de tijd. Op 12 weken na planten is het aandeel al 60% om enkele weken later ongeveer 70% te worden en dit ongeveer te blijven. De open kas had de laagste drogestof toename en de laagste vruchtproductie, maar heeft wel eenzelfde drogestofverdeling naar de vruchten als de geconditioneerde afdelingen. Het verschil in vruchtproductie is dus het gevolg van assimilatenaanmaak, niet het gevolg van de assimilatenverdeling.



Figuur 4.12. Verhouding tussen de drooggewichten van de vruchten en de totale plant.

De bladbedekkingsgraad (LAI, leaf area index) geeft aan hoeveel m^2 blad zich er bevindt boven een m^2 bodem. De LAI heeft direct invloed op de hoeveelheid onderschept licht en daarmee de fotosynthesesnelheid van een gewas, en op de verdamping van het gewas. Bij een LAI van $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ wordt ca. 95% van het licht door het gewas onderschept. Een veel hogere LAI is ook niet goed, omdat er dan onderin het gewas zeer weinig licht is, en de onderste bladeren niet bijdragen aan de fotosynthese. In Figuur 4.13. is te zien dat de LAI gedurende het grootste deel van de teelt voor alle behandelingen rond de $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ heeft gezeten (na de fase van opbouw van het bladoppervlak). Vanaf toppen (week 36) neemt het bladoppervlak af tot ca. $1.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aan het einde van de teelt.

Het specifieke bladoppervlak (SLA, specific leaf area) is de inverse van de bladdikte en kan worden afgeleid uit het bladoppervlak en het drooggewicht van de bladeren. De SLA neemt af gedurende het begin van de teelt en blijft daarna op een min of meer constant niveau. Er is geen verschil in SLA tussen de behandelingen, hetgeen aangeeft dat er geen verschil is geweest in bladstrekking.



Figuur 4.13. Het verloop van de bladbedekkingsgraad (LAI) en het specifieke bladoppervlak (SLA) gedurende de teelt.

4.4 Houdbaarheid

In de volgende tabel zijn de resultaten van de houdbaarheidsproeven van tomaten uit alle vijf behandelingen weergegeven.

Tabel 4.3. De houdbaarheid in dagen bij de vijf behandelingen op de 2 inzetdata en gemiddeld.

Behandeling	8 juli	2 september	Gemiddeld
Open kas	10.8	18.7	14.8
Langzaam, langzaam	13.4	16.4	14.9
Langzaam, snel	11.6	19.3	15.5
Snel, snel	12.3	18.6	15.5
Veranderend CO ₂	12.8	18.1	15.5

In het algemeen geldt dat de tomaten die geoogst zijn op 8 juli minder lang houdbaar zijn dan de tomaten geoogst op 2 september. Dat heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met de hoge instraling en buitentemperaturen in de weken voor 8 juli, die hebben geleid tot een piek in de kasluchttemperatuur in de laatste week van juni en eerste week van juli (zie Figuren 3.1 – 3.3). De etmaaltemperatuur in de open kas lag ca. 1°C hoger dan in de geconditioneerde afdelingen, hetgeen de verklaring kan zijn voor het feit dat van de tomaten geoogst op 8 juli, de houdbaarheid van de vruchten uit de open kas het laagst was. In de maand augustus was de kasluchttemperatuur lager dan eind juni en begin juli, hetgeen de houdbaarheid van de tomaten ten goede kwam. Gemiddeld over de twee data verschilt de houdbaarheid tussen de behandelingen niet aantoonbaar.

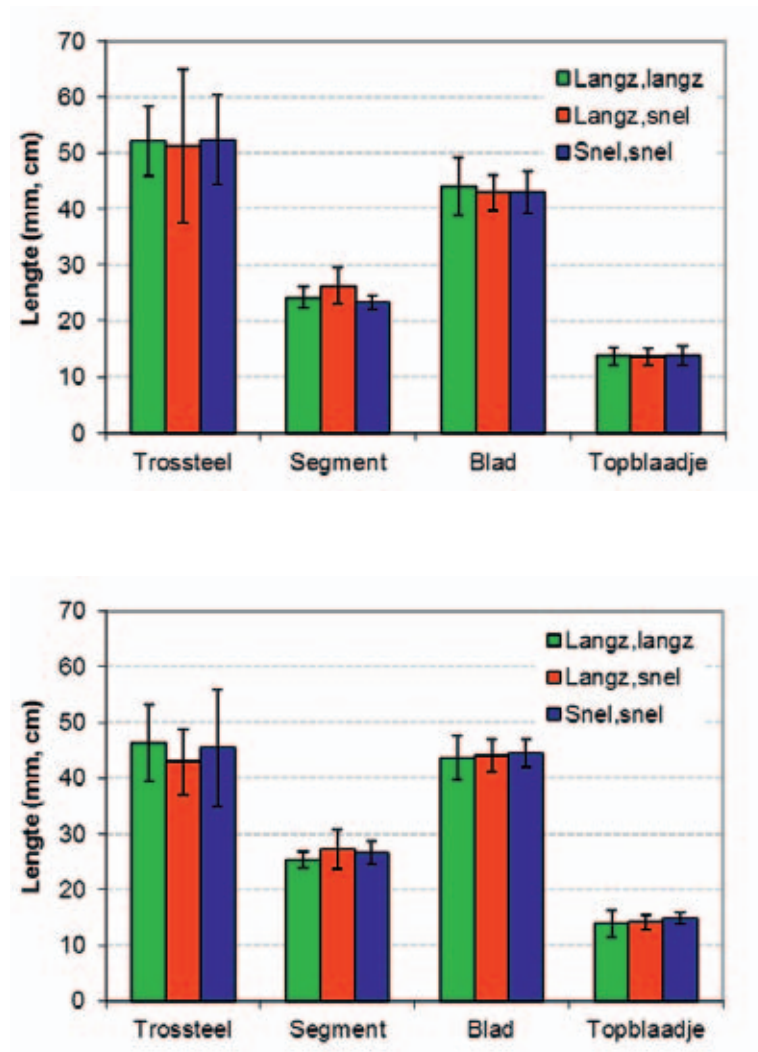
4.5 Conclusies

In dit hoofdstuk zijn de groei en ontwikkeling van tomatenplanten beschreven, die zijn geteeld in de open kas, en vier geconditioneerde afdelingen die verschillen in temperatuurstrategieën en ventilatie. De vegetatieve kenmerken van de vijf gewassen (bladlengte, kopdikte, lengtegroei) verschilden niet tussen de behandelingen. De totale droge stof productie in de open kas bleef achter bij de geconditioneerde afdelingen. De assimilatenverdeling over de verschillende organen was hetzelfde voor alle behandelingen, dat betekent dat in de open kas er zowel minder groei was van vruchten, bladeren als stengels. De productie in de open kas was lager dan in de geconditioneerde afdelingen, hetgeen werd veroorzaakt door een lager gemiddeld vruchtgewicht. In de geconditioneerde afdelingen werd 3 – 7% meer versgewicht aan vruchten geoogst dan in de open kas. Deze verschillen zijn klein, en worden niet verklaard door het aantal aangelegde trossen, maar door het gemiddeld vruchtgewicht. Er zijn geen verschillen in houdbaarheid van de tomaten tussen de behandelingen. Wel is duidelijk dat de houdbaarheid werd beïnvloed door de temperaturen in de kas in de periode voorafgaand aan de oogst.

5 Resultaten – strekking en vruchtgrootte

5.1 Strecking gerelateerd aan temperatuurdynamiek in de ochtend

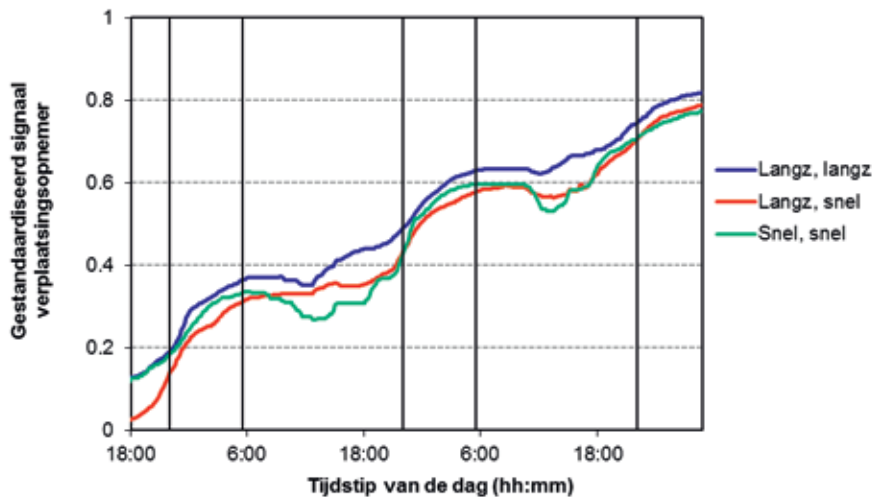
Eén van de hypothesen geformuleerd in hoofdstuk 1.2.1 (Temperatuurdynamiek) was “ Strecking van stengel, blad en trossteeltjes is gerelateerd aan de temperatuurdynamiek in de ochtend”. Om deze hypothese te toetsen zijn gedurende de teelt de lengtes gemeten van trossteel, segment (stengeldeel met drie bladeren en een tros), blad en het topblaadje in de drie temperatuurstrategiebehandelingen. Uit Figuur 5.1. blijkt duidelijk dat er geen meetbaar verschil was in lengtes van trossteel, segment, blad en topblaadje tussen de behandelingen.



Figuur 5.1. Lengtes van trossteel (mm) en segment, blad en topblaadje (cm) gemeten in week 17 (boven) en week 29 (onder). De verticale lijnen geven de standaardafwijking van de metingen weer.

Dit houdt in dat met de strategieën van opstoken zoals ze in deze proef zijn gebruikt de lengtegroei niet te beïnvloeden is.

De strekking is te beïnvloeden door middel van de temperatuurstrategie, als er duidelijke verschillen zijn in snelheid van strekken gedurende de dag. Om het patroon van strekken te meten is met behulp van een verplaatsingsopnemer de groei van de top van de plant gedurende de dag gemeten in de drie behandelingen die verschillen in temperatuurstrategie (zie paragraaf 2.4.4). Hieruit bleek dat de stengel vooral 's nachts strekt, met name in het eerste deel van de nacht (Figuur 5.2.). In de ochtenduren is er nagenoeg geen strekkingsgroei.

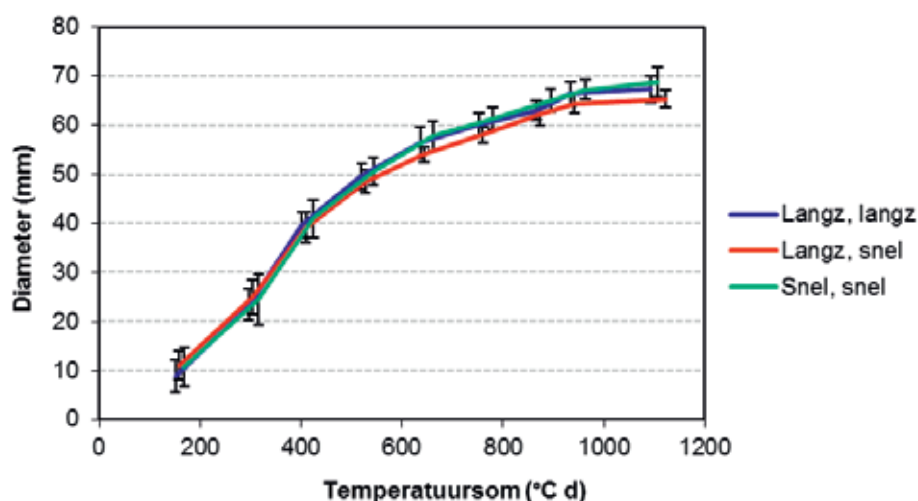


Figuur 5.2. Verloop van het gestandaardiseerd signaal van de verplaatsingsopnemers (maat voor de lengte van de plant) gedurende twee dagen voor de drie temperatuurstrategiebehandelingen.

5.2 Vruchtgrootte gerelateerd aan temperatuurstrategie aan het einde van de dag

Een volgende hypothese geformuleerd in hoofdstuk 1.2.1 (Temperatuurdynamiek) was “Vruchtgrootte wordt bepaald door de snelheid van daling van de temperatuur aan het einde van de dag”. Om na te gaan of deze hypothese aangenomen kan worden is de vruchtgroei in de drie afdelingen met verschillende temperatuurstrategieën gevolgd in relatie tot blad- en vruchttemperatuur en is de temperatuur van vruchten “kunstmatig” extra verhoogd door de cuvetten om de trossen te doen, waarbinnen de temperatuur verhoogd kon worden.

De gegevens van de geoogste vruchten uit de verschillende behandelingen lieten zien dat het gemiddeld vruchtgewicht in de zomermaanden voor de behandelingen langzaam, langzaam en snel, snel 126 g was en voor de behandeling langzaam, snel 122 g (Tabel 4.2.). Uit nauwkeurige metingen aan de vruchtontwikkeling in de weken 27-34 blijkt hetzelfde: de vruchtdiameter voor de behandelingen langzaam, langzaam en snel, snel was iets hoger dan voor de behandeling langzaam, snel (Figuur 5.3.).



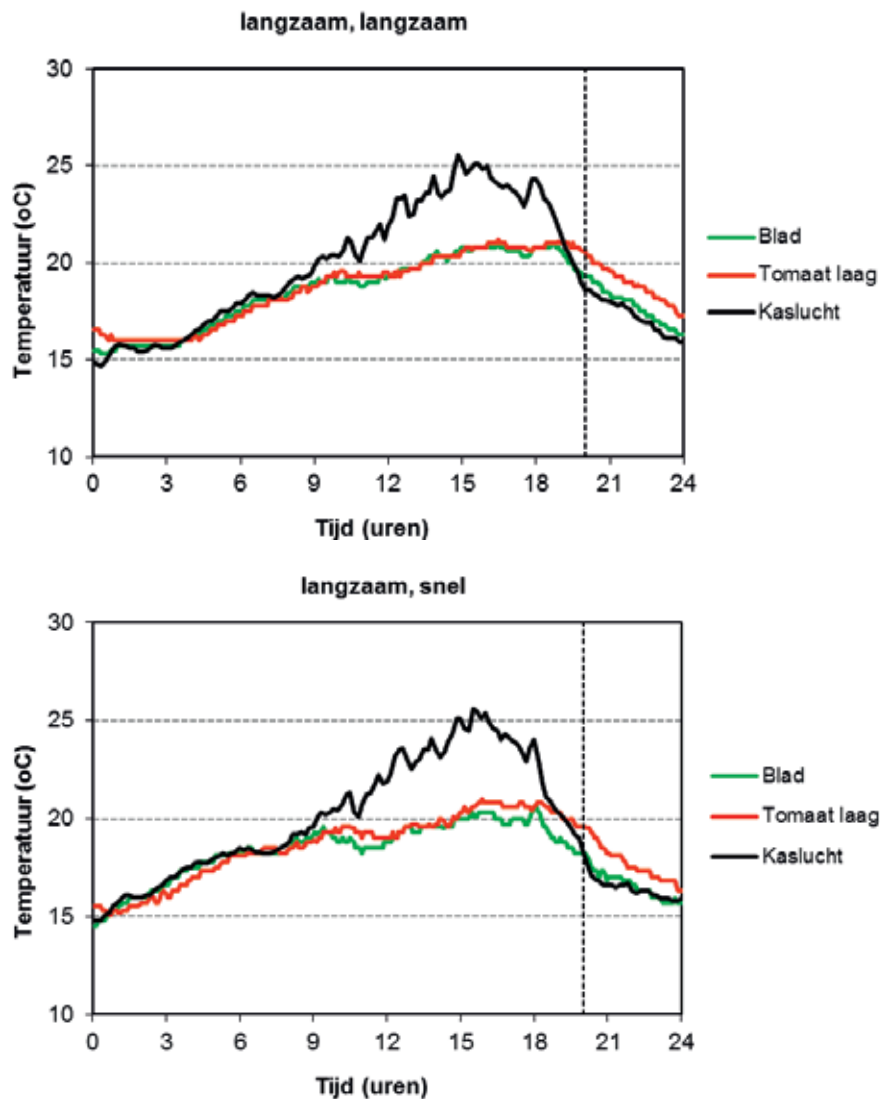
Figuur 5.3. Verloop van de diameter van de tweede vrucht van een tros uitgezet tegen de temperatuursom in graaddagen tussen vruchtzetting en oogst voor de drie temperatuurbehandelingen. Verticale lijnen geven de standaard afwijking weer.

De temperatuursom om van vruchtzetting tot oogstrijp te komen verschilde niet tussen de behandelingen en was ca. 1100 graaddagen (met een basistemperatuur van 4 °C). Op moment van oogsten werden de eigenschappen van de geoogste vruchten bepaald (Tabel 5.1.). Uit de analyse blijkt dat de diameter en het versgewicht voor de behandeling langzaam, snel minder is dan in de behandeling snel, snel. De behandeling langzaam, langzaam ligt daar tussen in. Dat betekent dat snel afkoelen niet altijd tot de zwaarste vruchten leidt, maar dat het vruchtgewicht ook afhangt van de opstookstrategie.

Tabel 5.1. Karakteristieken van vruchten uit de drie temperatuurbehandelingen op moment van oogstrijp.

Behandeling	Diameter (mm)	Versgewicht (g)	Drooggewicht (g)	Drogestofpercentage (%)	o Brix
Langzaam, langzaam	67.3 ab	133 ab	6.4 a	4.8 a	4.0
Langzaam, snel	65.3 a	124 a	6.3 a	5.1 a	4.4
Snel, snel	68.8 b	140 b	6.9 a	4.9 a	4.1

Om na te gaan hoe de vruchttemperatuur verloopt in relatie tot de kasluchttemperatuur en de temperatuur van de bladeren, werd in de behandelingen langzaam, langzaam en langzaam, snel de temperatuur van de afrijpende tros, temperatuur van een blad vlakbij de tros en de kasluchttemperatuur gemeten. De veronderstelling was dat snel afluchten aan het einde van de dag leidt tot een snelle daling van de gewastemperatuur, i.e. de bladtemperatuur. Vruchten hebben een groter volume en ijlen daarmee na. Het feit dat de vruchten aan het einde van de dag warmer zijn dan de bladeren zou inhouden dat ze daardoor in die periode een grotere sink zijn voor assimilaten, hetgeen zwaardere vruchten op zou leveren. In Figuur 5.4. is te zien dat het verschil in temperatuur tussen de tomaat en het blad inderdaad groter is wanneer snel afgekoeld wordt dan wanneer langzaam afgekoeld wordt. Tussen zonsondergang en middernacht is het temperatuurverschil bij langzaam afkoelen 4.1 graden, en bij snel afkoelen 6.5 graden. Uit Tabel 5.1. blijkt echter dat dit verschil niet voldoende is om te leiden tot verschillen in diameter of gewicht van de vruchten.



Figuur 5.4. Verloop van de temperatuur van een afrijpende tomatenvrucht, een blad vlakbij de tros en de kasluchttemperatuur voor de behandeling langzaam, langzaam (boven) en langzaam, snel (onder) op 13 september 2011. De gestreepte verticale lijn geeft het moment van zonsondergang aan.

Om na te gaan wat het effect van verwarmen op de vruchtgroei is, zijn trossen op het moment van vruchtzetting, tot het moment van oogst in cuvetten geplaatst, die verwarmd werden (4 °C boven kasluchttemperatuur) en onverwarmde cuvetten. Het verwarmen bleek geen effect te hebben op de temperatuursom tot het moment van oogstrijp, maar wel op de uitgroeiduur in dagen. De onverwarmde trossen hadden een uitgroeiduur van 66 dagen, de verwarmde trossen een uitgroeiduur van 58 dagen. Er bleek geen verschil te zijn in versgewicht van de tros, drooggewicht en vruchtdiameter tussen de vruchten gegroeid in de verwarmde of onverwarmde cuvet.

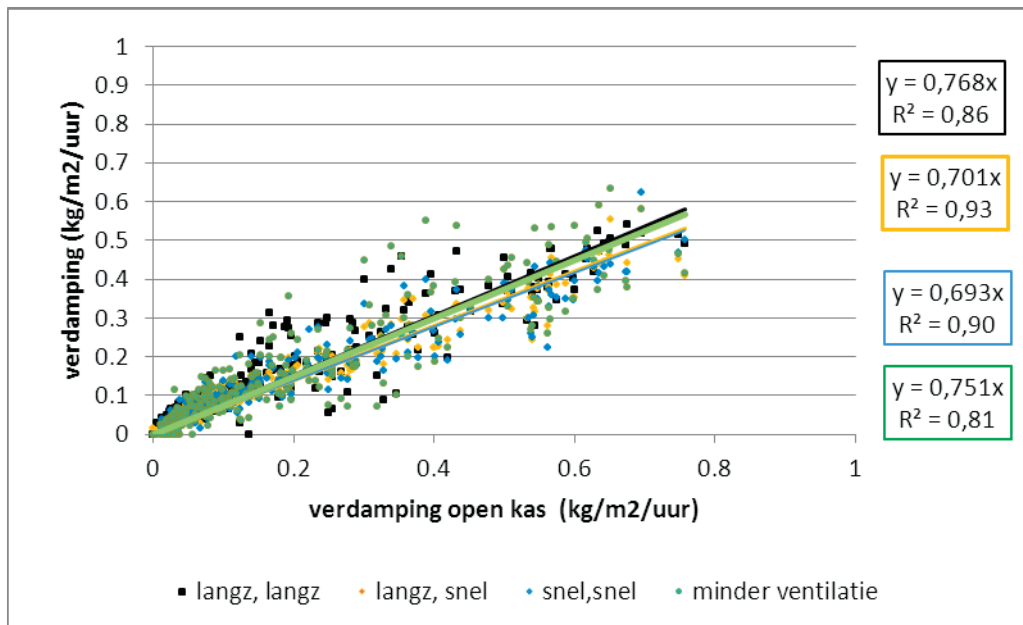
5.3 Conclusies

In dit experiment werd getoetst in hoeverre de temperatuurstrategieën in de ochtend (snelheid van opstoken) en in de avond (snelheid van afkoelen) een effect hebben op de strekking van delen van de plant en op het assimilatentransport naar de vruchten. Uit de metingen bleek dat de snelheid van opstoken aan het begin van de dag geen meetbaar effect heeft op de strekking van stengels, bladeren en trossteeltjes. Wanneer aan het einde van de dag de kaslucht snel wordt afgekoeld, neemt de temperatuur van de bladeren snel mee af, en ijlt de vruchttemperatuur na. Dit heeft echter geen meetbaar effect op de vruchtgrootte of het vruchtgewicht. Met de temperatuurstrategieën die in deze proef zijn aangehouden is de lengtegroei of assimilatenverdeling binnen de plant niet te sturen.

6 Resultaten – verdamping

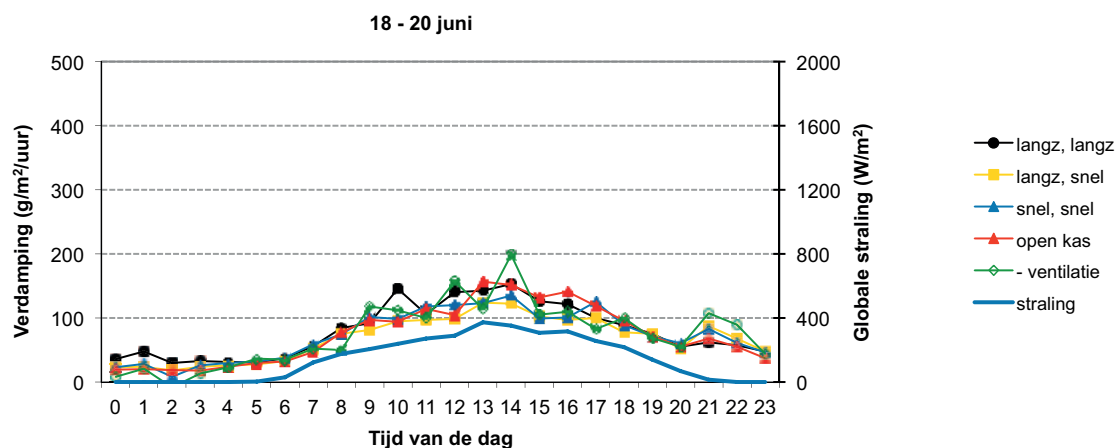
In dit experiment wordt het effect van verschillende temperatuurstrategieën op het gewas onderzocht. Daarbij was een van de vragen hoe de strategieën van opstoken aan het begin van de dag en van afkoelen aan het einde van de dag de verdamping en nutriëntenopname beïnvloeden. In dit hoofdstuk wordt het effect van de aangelegde behandelingen op de verdamping beschreven, in hoofdstuk 7 staan de effecten op de nutriëntengehaltes beschreven.

In Figuur 6.1. is de verdamping in de vier geconditioneerde kassen gemiddeld over de data 18 – 20 juni, 25 – 27 juni, 17 – 19 juli en 1 – 3 augustus uitgezet tegen de verdamping in de open kas. Hieruit blijkt dat de verdamping in de geconditioneerde kassen 69 – 77% is van de verdamping in de open kas. Deze verschillen stemmen overeen met de verschillen in verdamping tussen de open kas en geconditioneerde kassen in 2009 (Dieleman *et al.* 2011), en worden voornamelijk verklaard door de verschillen in vochtigheid. De open kas heeft over het algemeen een veel lagere luchtvochtigheid (hoger VPD), hetgeen leidt tot een hogere verdampingssnelheid. Tussen de geconditioneerde kassen zijn de verschillen in verdamping beperkt. De beide afdelingen waarbij aan het einde van de dag snel afgekoeld wordt (langzaam, snel en snel, snel) hebben een lagere verdamping dan de afdeling waarbij aan het einde van de dag langzaam afgekoeld wordt, en de afdeling met een verminderde ventilatie.

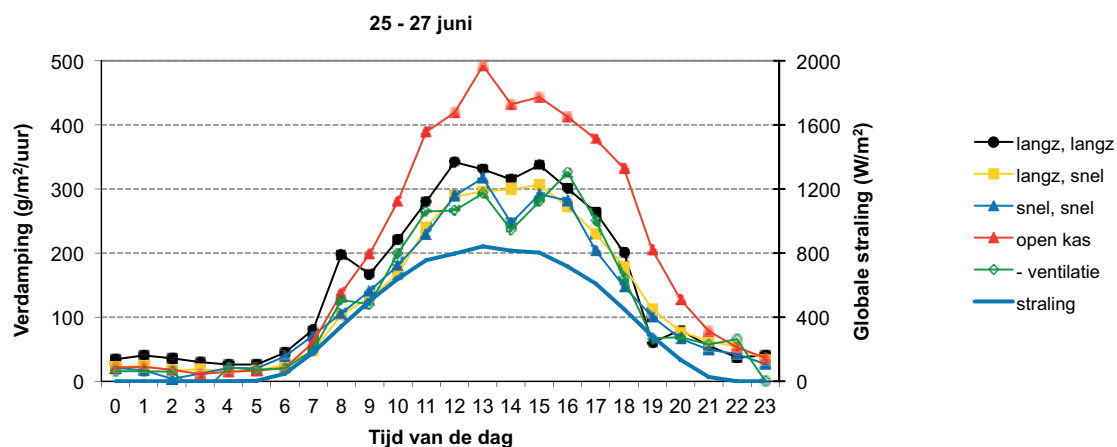


Figuur 6.1. Verdamping van de kassen langz, langz en langz, snel en snel, snel en verminderde ventilatie uitgezet tegen de verdamping van de open kas.

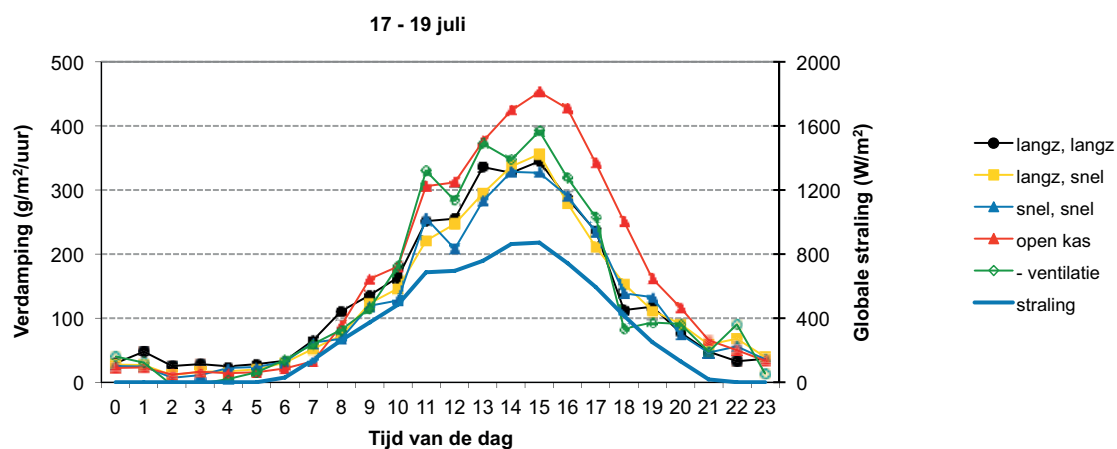
De Figuren 6.2 – 6.4 tonen de verdamping en straling per uur voor de periodes 18 – 20 juni, 25 – 27 juni en 17 – 19 juli van alle kassen. De periode 18 – 20 juni was een periode met weinig straling met maxima van ca. 400 W m². De twee andere periodes hadden veel meer straling met maxima tussen de 800 en 900 W m².



Figuur 6.2. Verloop van de verdamping en straling per uur over de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.



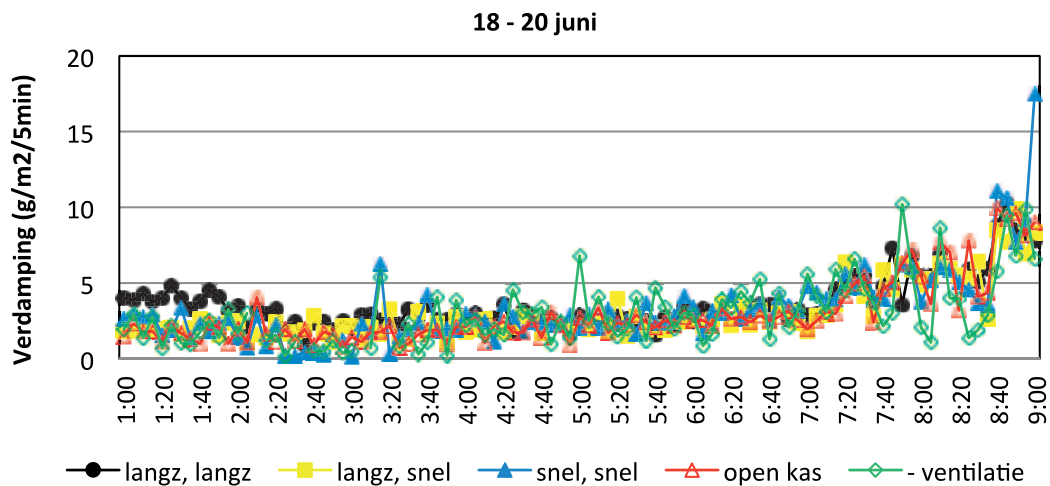
Figuur 6.3. Verloop van de verdamping en straling per uur over de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 25-27 juni.



Figuur 6.4. Verloop van de verdamping en straling per uur over de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 17-19 juli.

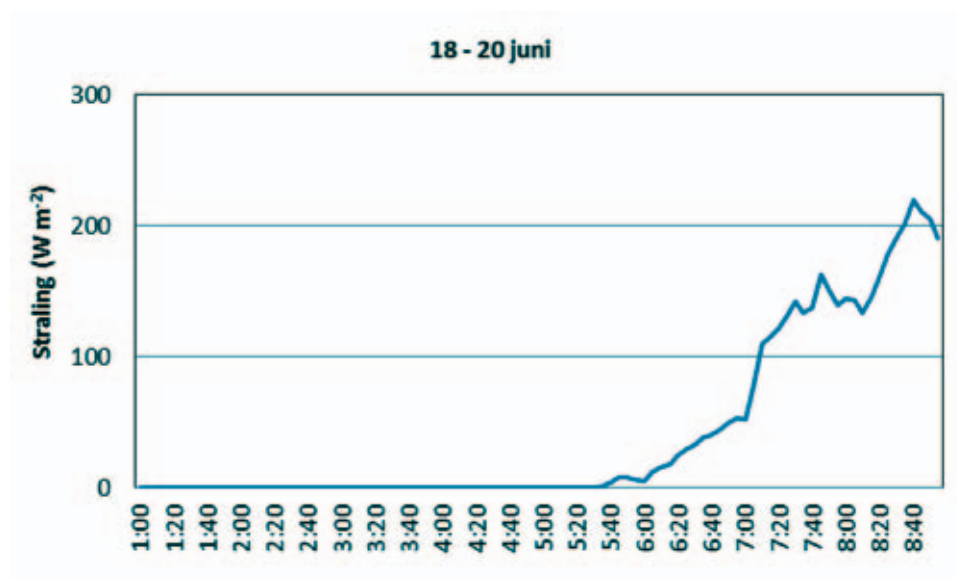
In deze figuren is te zien dat de verdamping per uur een sterke relatie heeft met de instraling. Op zonnige dagen (25 – 27 juli en 17 – 19 juli) zijn er duidelijke verschillen waarneembaar tussen de verdamping in de open kas en de geconditioneerde kassen. Op bewolkte dagen (18 – 20 juni), waarbij de verschillen in raamopening beperkt zullen zijn, was er weinig verschil in verdamping tussen de open en geconditioneerde kassen.

Om na te gaan wat het effect is van de temperatuurstrategieën op de verdamping tijdens het opstoken naar de dagtemperatuur of afkoelen naar de nachttemperatuur, moet specifiek gekeken worden naar de verdampingssnelheid aan de randen van de dag. In Figuren 6.5 en 6.9 staat de verdamping per 5 minuten aan het begin en einde van de dag uitgezet.



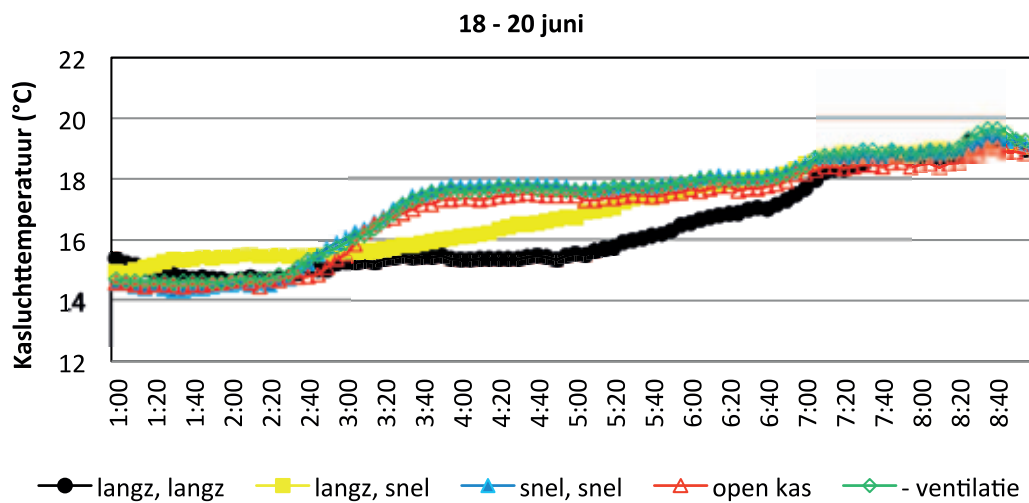
Figuur 6.5. Verloop van de verdampingsnelheid per 5 minuten aan het begin van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.

De verdamping neemt aan het begin van de dag toe op het moment dat de zon opkomt en het stralingsniveau toeneemt (Figuur 6.6.).



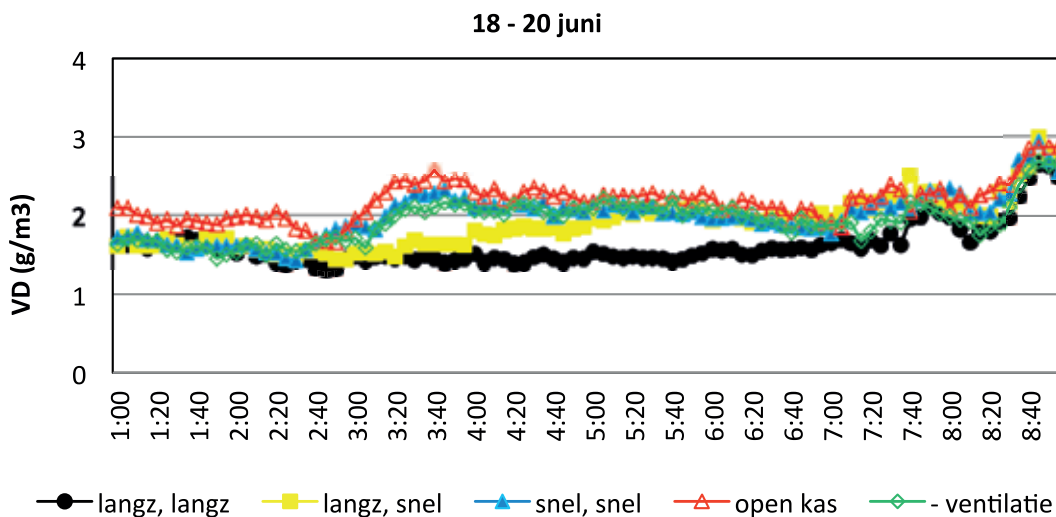
Figuur 6.6. Verloop van de straling aan het begin van de dag gemiddeld over de periode 18-20 juni.

De temperatuurstrategieën worden al ruim voor zonsopkomst ingezet. De behandeling langzaam, snel begin al op te stoken om ca. 1:00 uur, en de behandelingen waarbij snel opgestookt wordt (snel, snel en verminderde ventilatie) beginnen op te stoken om 2:00 uur (Figuur 6.7.). Om ca. 7:00 uur heeft de temperatuur in alle opstookbehandelingen de dagtemperatuur bereikt.



Figuur 6.7. Verloop van de kasluchttemperatuur aan het begin van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.

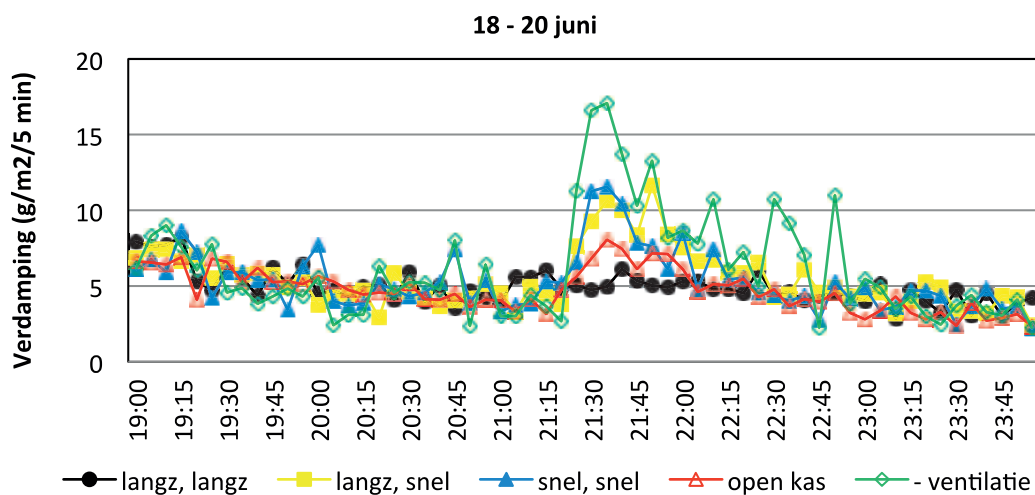
Het vochtdeficiet is in de open kas 's nachts hoger dan in de geconditioneerde afdelingen. Wanneer de kasluchttemperatuur opgestookt wordt, neemt het vochtdeficiet in de verschillende behandelingen ook toe (Figuur 6.8.).



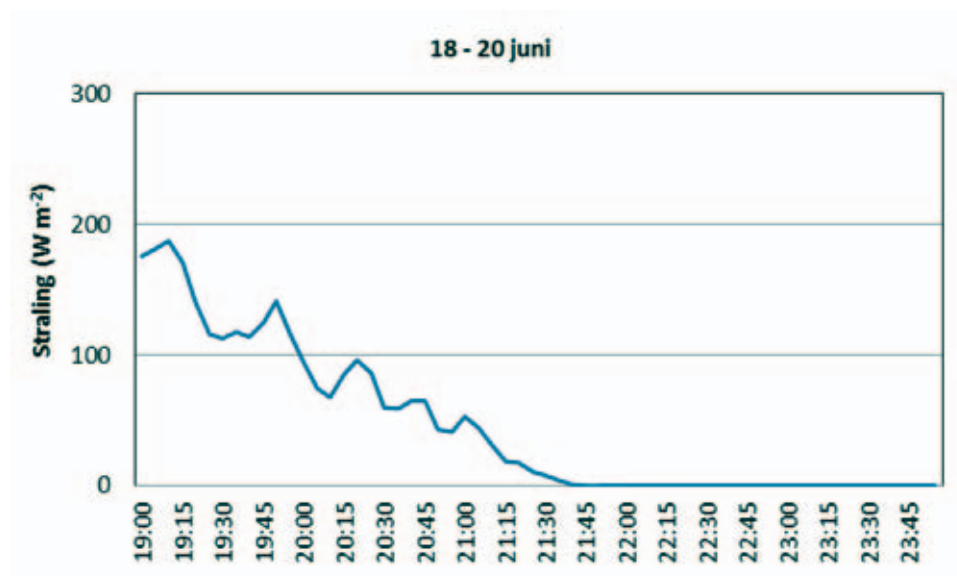
Figuur 6.8. Verloop van het vochtdeficiet aan het begin van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.

Uit de analyse van de verdamping aan het begin van de dag en het verloop van het kasklimaat tijdens het opstoken blijkt dat er wel verschillen zijn in kasluchttemperatuur en vochtdeficiet aan het begin van de dag, maar dat deze verschillen nauwelijks leiden tot verschil in verdamping tijdens het opstoken.

De verdamping aan het einde van de nacht verschilt na 21:00 uur duidelijk voor de verschillende temperatuurstrategieën (Figuur 6.9.). De verdamping is tussen ca. 21:00 en 22:00 uur, de periode rond zonsondergang (Figuur 6.10.) het laagst voor de kas die langzaam afkoelt. De open kas heeft een iets hogere verdamping, en de verdamping tussen 21:00 en 22:00 is het hoogst voor de geconditioneerde afdelingen waarin snel afgekoeld wordt.

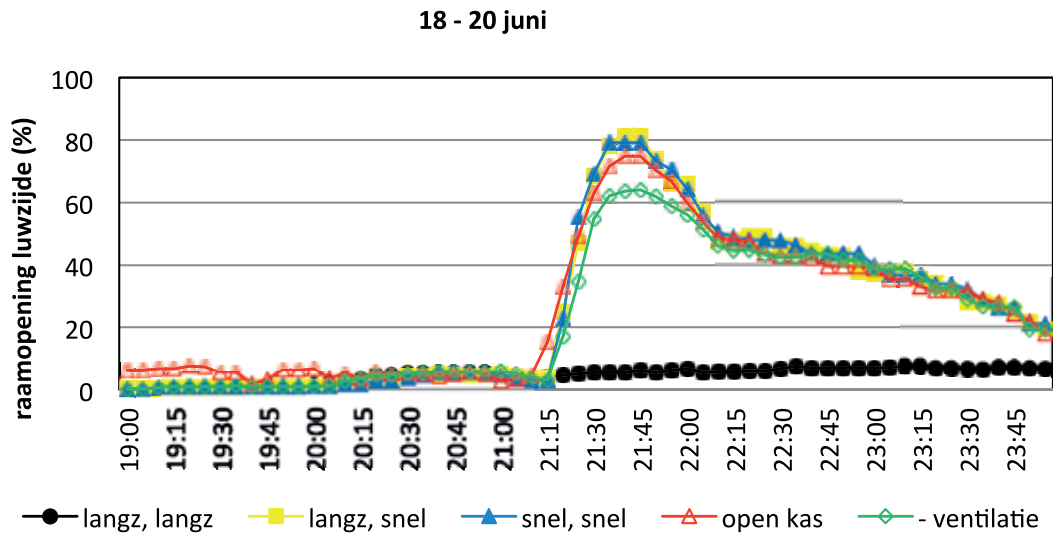


Figuur 6.9. Verloop van de verdampingsnelheid per 5 minuten aan het einde van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.

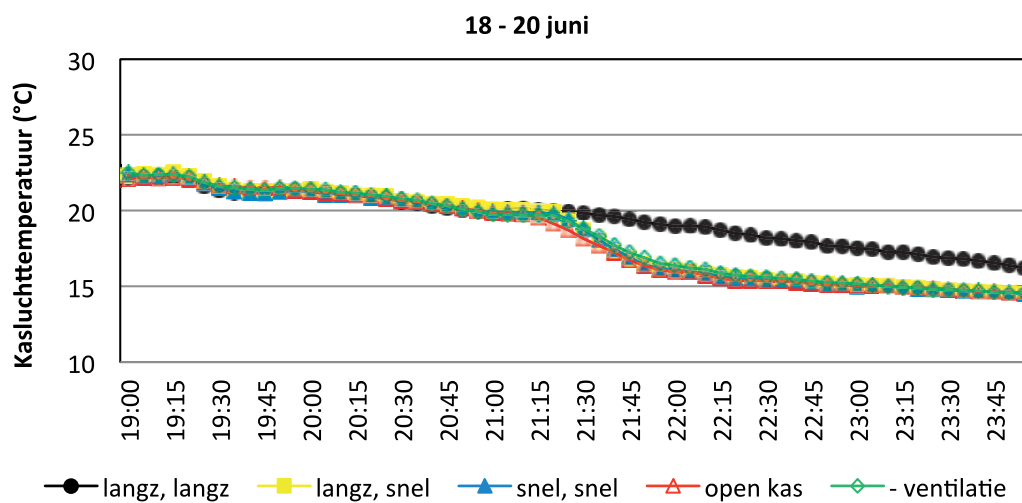


Figuur 6.10. Verloop van de straling aan het einde van de dag gemiddeld over de periode 18-20 juni.

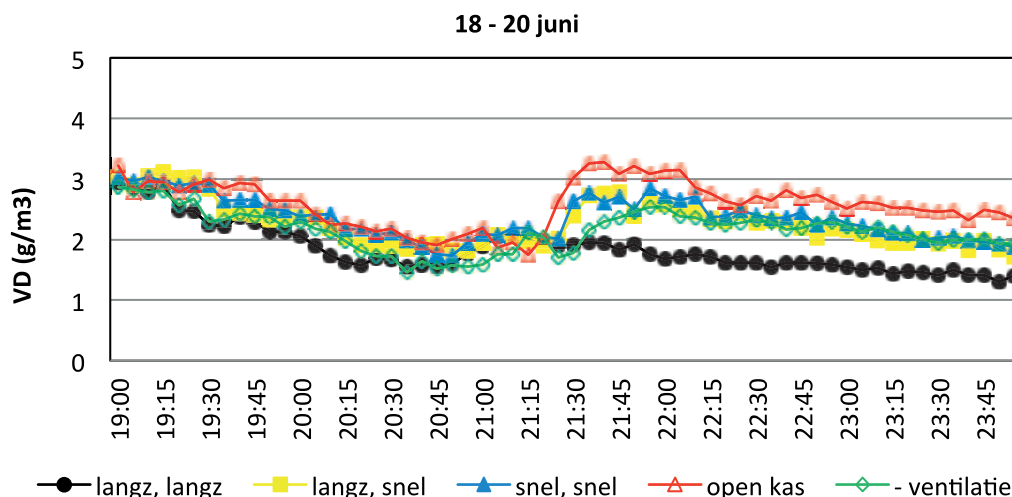
Op het moment dat de zon onder is, en het stralingsniveau nagenoeg nul is, worden de ramen in de behandelingen waarin snel afgekoeld wordt snel ver geopend (Figuur 6.11.), waardoor de kasluchttemperatuur snel afneemt (Figuur 6.12.). In de behandeling langzaam, staan de ramen maar beperkt open en neemt de kasluchttemperatuur geleidelijk af. Door het feit dat er in deze behandeling veel minder gelucht wordt, blijft het vochtdeficiet in de kas veel lager dan in de behandelingen waarin wel veel gelucht wordt (Figuur 6.13.).



Figuur 6.11. Verloop van de raamopening aan luwe zijde aan het einde van de dag gemiddeld over de periode 18-20 juni.



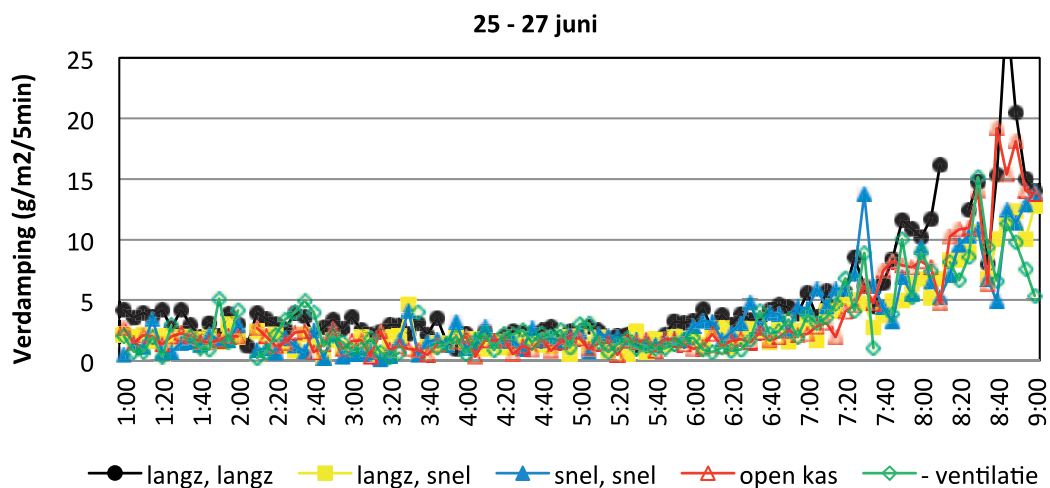
Figuur 6.12. Verloop van de kasluchttemperatuur aan het einde van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.



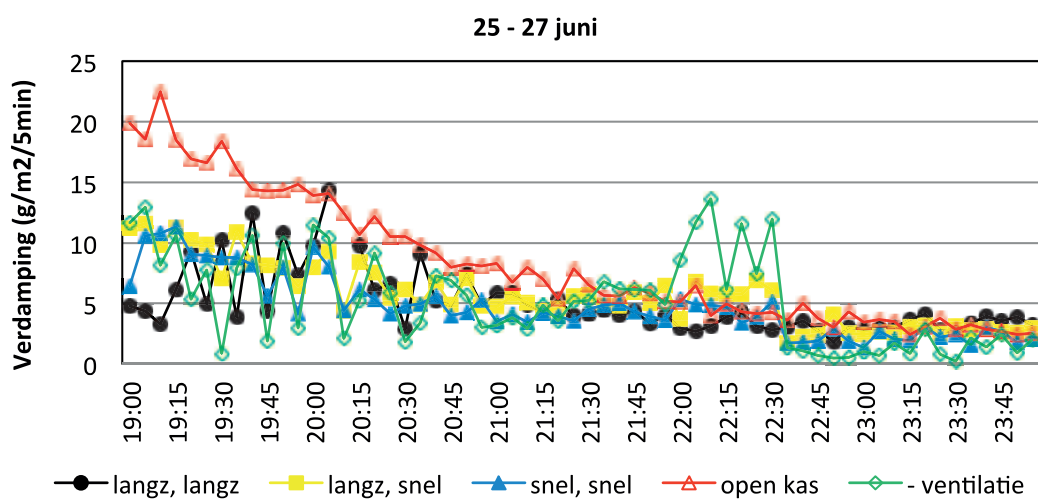
Figuur 6.13. Verloop van het vochtdeficiet aan het einde van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 18-20 juni.

Aan het einde van de dag heeft de behandeling waarin langzaam wordt afgekoeld de laagste verdamping, waarschijnlijk door de hoge luchtvochtigheid in die behandeling omdat in tegenstelling tot de andere behandelingen waarin sterk gelucht wordt, geen koele, droge lucht aangevoerd wordt. De verdamping is in de open kas minder hoog dan in de andere geconditioneerde afdelingen, hetgeen niet verklaard kan worden door de temperatuur of het vochtdeficiet. In de geconditioneerde behandelingen waarin snel wordt afgekoeld door te luchten is de verdamping rond zonsondergang het hoogst, en piekt flink ten opzichte van het niveau voordat de ramen geopend werden. Waarom met name de behandeling met verminderde ventilatie een hoge verdamping heeft is niet duidelijk. Wel is in de figuur te zien dat er met name in die behandeling grote schommelingen zijn in de 5-minuten waardes van de verdamping, hetgeen mogelijk op een onbalans van de metingen duidt.

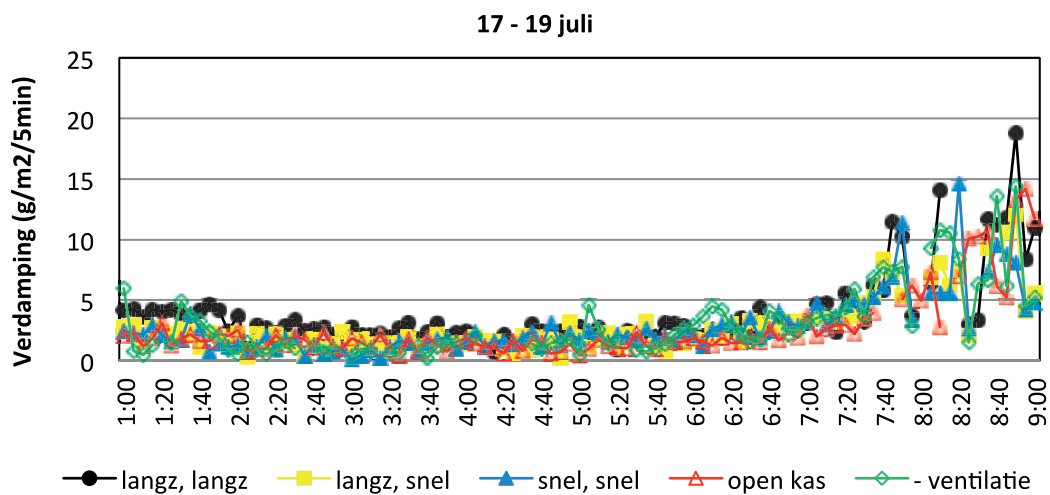
Het patroon van de verdamping tijdens opstoken en afkoelen in de verschillende behandelingen is voor de twee andere onderzochte periodes (25 – 27 juni en 17 – 19 juli) vergelijkbaar (Figuren 6.14 – 6.17). Omdat deze periodes warmer waren, en er gedurende de dag al meer gelucht werd, zijn de verschillen in verdamping tussen de behandeling waarin langzaam afgekoeld werd en de behandelingen waarin snel werd afgekoeld minder groot dan op de bewolkte dagen (18 – 20 juni).



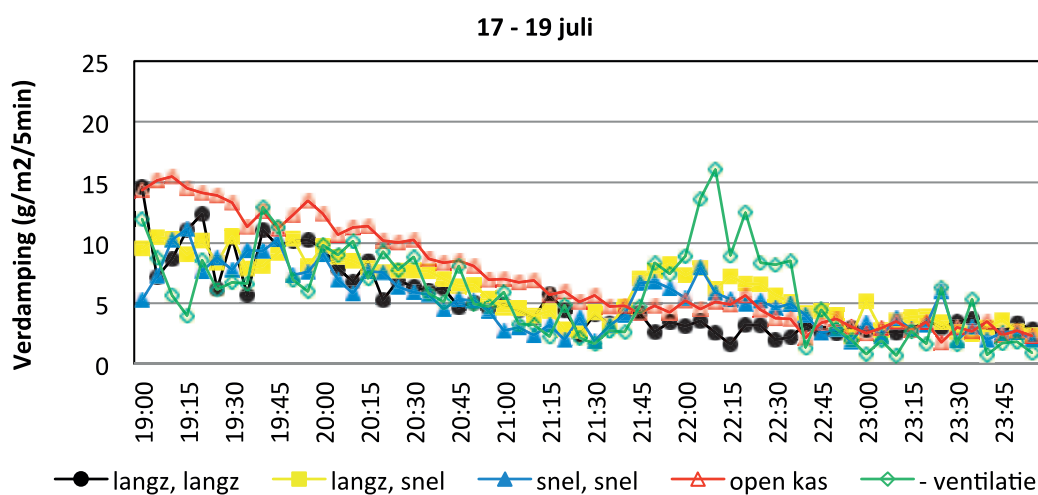
Figuur 6.14. Verloop van de verdampingsnelheid per 5 minuten aan het begin van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 25-27 juni.



Figuur 6.15. Verloop van de verdampingsnelheid per 5 minuten aan het einde van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 25-27 juni.



Figuur 6.16. Verloop van de verdampingsnelheid per 5 minuten aan het begin van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 17-19 juli.



Figuur 6.17. Verloop van de verdampingsnelheid per 5 minuten aan het einde van de dag voor alle behandelingen gemiddeld over de periode 17-19 juli.

6.1 Conclusies gewasverdamping

In dit experiment zijn verschillende temperatuurstrategieën aangelegd, waarbij de snelheid van opwarmen aan het begin van de dag of de snelheid van afkoelen aan het einde van de dag werden gevarieerd. Daarbij was een van de vragen hoe deze temperatuurstrategieën de verdamping van het gewas beïnvloeden. Uit de metingen van de gewasverwarming met weeggoten en gewasweging bleek dat de verdamping in de open kas 30-40% hoger is dan in de geconditioneerde afdelingen. Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in luchtvochtigheid; de VPD was in de open kas hoger dan in de geconditioneerde afdelingen. De verschillen in verdamping tussen de geconditioneerde afdelingen waren beperkt.

Verder is specifiek gekeken naar de verschillen in verdamping in de periode van opwarmen van de kaslucht en afkoelen van de kaslucht richting de nachttemperatuur. Daarbij bleek dat er geen meetbare verschillen waren in verdamping bij de verschillende opwarm strategieën. Aan het einde van de dag verschilt de verdamping wel tussen de behandelingen: de afdeling waarbij de temperatuur langzaam teruggebracht wordt, heeft een hogere temperatuur en een hogere luchtvochtigheid en daardoor een lagere verdampingssnelheid dan de behandelingen waarbij de kasluchttemperatuur snel teruggebracht wordt door de ramen snel ver te openen.

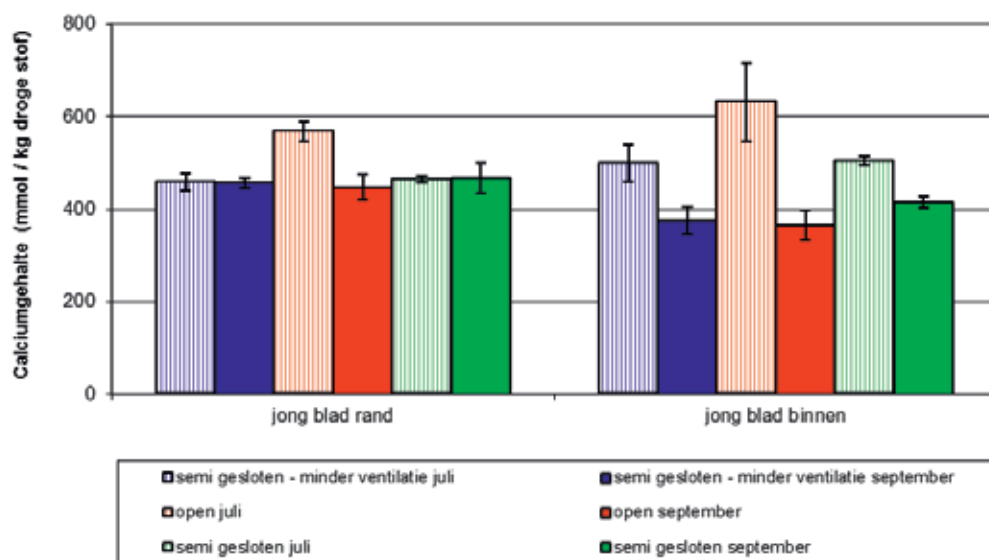
7 Nutriëntenopname

In deze proef is de nutriëntenopname aan de hand van een aantal ionen vergeleken. Sommige elementen zoals calcium gaan voornamelijk mee met de waterstroom naar de verdampende bovengrondse delen. Anderen zoals kalium worden actief opgenomen en vooral ook actief geredistribueerd via het floëem, op basis van sink. Calcium wordt niet herverdeeld, er is namelijk geen of nauwelijks sprake van transport via het floëem. Veel of langdurig hoge verdamping betekent ook meer Ca aanvoer naar de verdampende delen: de bladeren en daarvan vooral de bladranden. Ca transport naar vruchten is beperkt aangezien een vrucht slechts weinig verdampt. Bovendien is het oppervlak van een vrucht zeer gering ten opzichte van de totale vruchtmassa. Verschillen in verdampingshistorie van een plantorgaan zullen dus vooral tot uiting komen in het Ca gehalte van de bladrand.

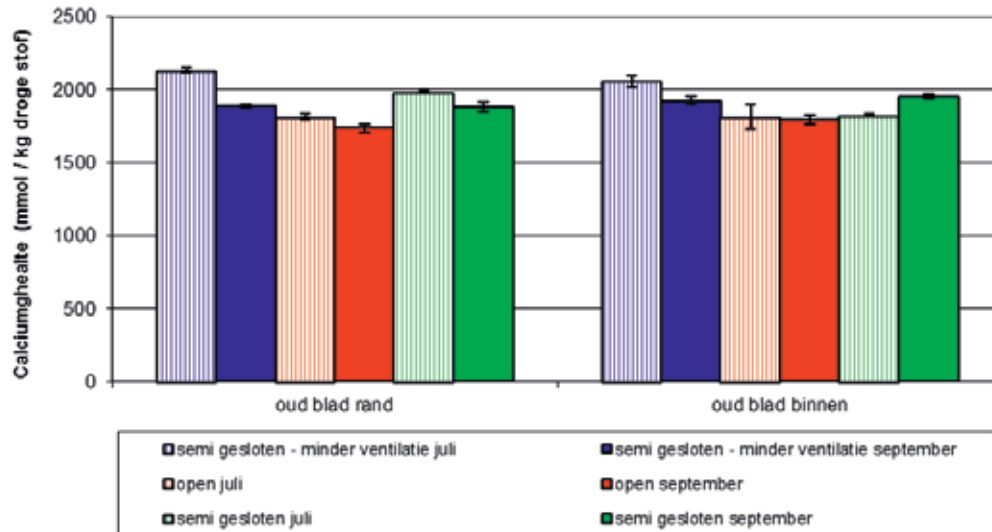
In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de analyses van de elementen calcium, kalium en magnesium weergegeven. De concentraties van de elementen zijn uitgedrukt in mmol per kg droge stof, behalve bij kalium die uitgedrukt is in mmol per liter. Dit omdat kalium uitsluitend opgelost in het celvocht voorkomt en de andere elementen voornamelijk worden vastgelegd in structurele massa zoals celwanden /membranen (calcium) of in het fotosyntheseapparaat (magnesium).

7.1 Calcium

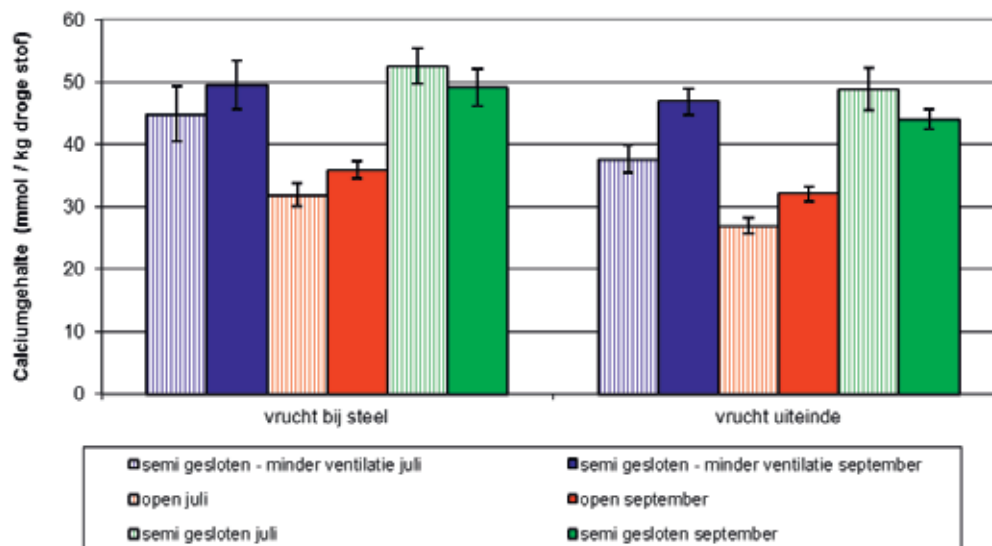
De hoeveelheid calcium in de jonge bladeren is in juli hoger in de open kas dan in de geconditioneerde afdelingen (Figuur 7.1.). Deze verschillen zijn in september verdwenen, de calcium gehalten verschillen dan nauwelijks tussen de behandelingen. Wel is het dan zo dat het calciumgehalte in de rand duidelijk hoger ligt dan in het middelste deel van het blad. In de oude bladeren zijn weinig verschillen in calciumgehalte tussen de behandelingen (Figuur 7.2.). Het calciumgehalte in de vruchten is in de open kas duidelijk lager dan in de geconditioneerde afdelingen (Figuur 7.3.). Dit geldt zowel voor de metingen in juli als in september. Deze bevindingen stemmen overeen met de hogere verdamping in de open kas in vergelijking tot de geconditioneerde afdelingen, waardoor er meer calcium naar de bladeren wordt getransporteerd, maar minder naar de vruchten.



Figuur 7.1. Verdeling van calcium in de jonge bladeren.



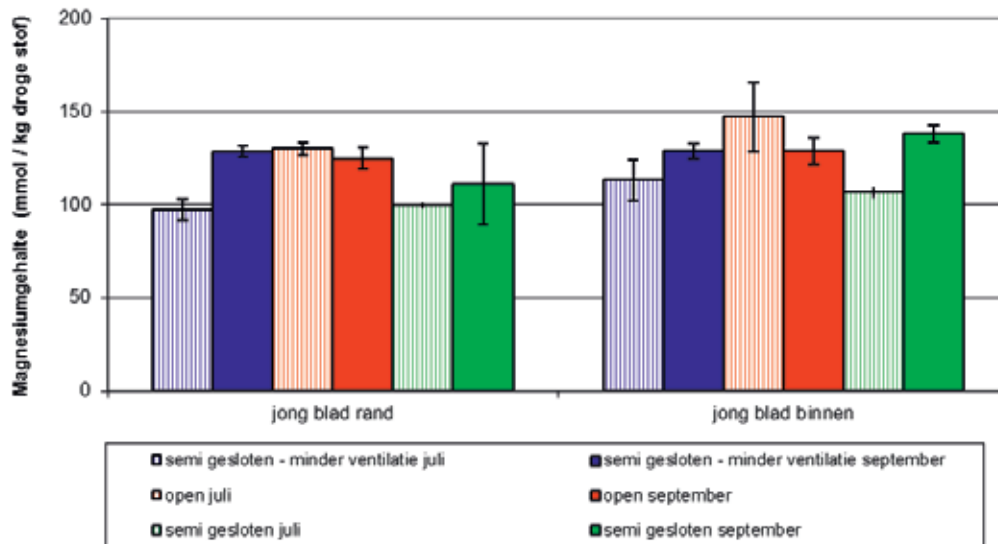
Figuur 7.2. Verdeling van calcium in de oude bladeren.



Figuur 7.3. Verdeling van calcium in de vruchten.

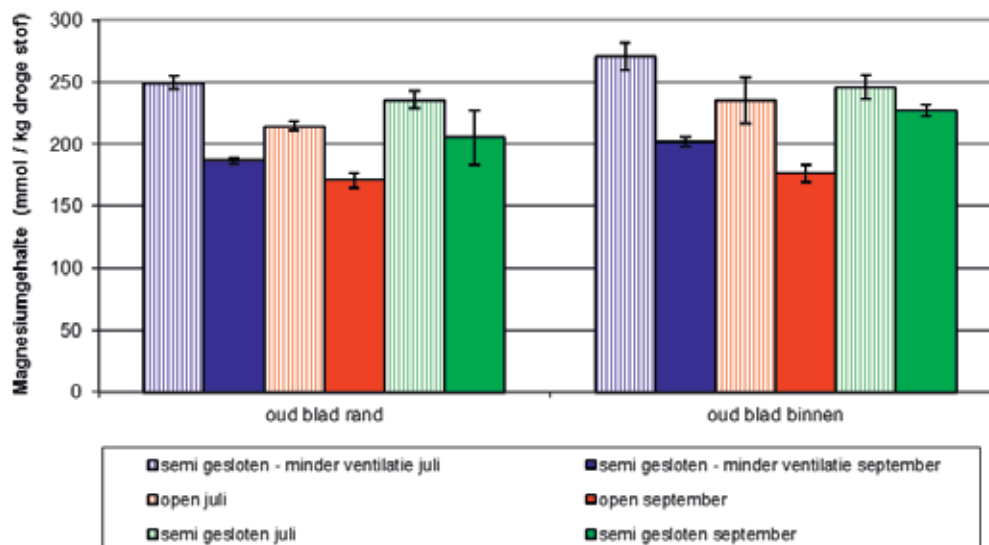
7.2 Magnesium

De gehalten aan magnesium in het blad vertonen een beeld dat vergelijkbaar is met dat van calcium. In juli zijn de gehalten aan magnesium in zowel de rand van het blad als het binnenste deel van het blad in de open kas hoger dan in de geconditioneerde afdelingen (Figuur 7.4.), mogelijk door een hogere verdamping. In september zijn de magnesiumgehalten ook in de geconditioneerde afdelingen hoger, en zijn er nauwelijks nog verschillen in magnesiumgehalten tussen de jonge bladeren van planten in de open of geconditioneerde afdelingen.



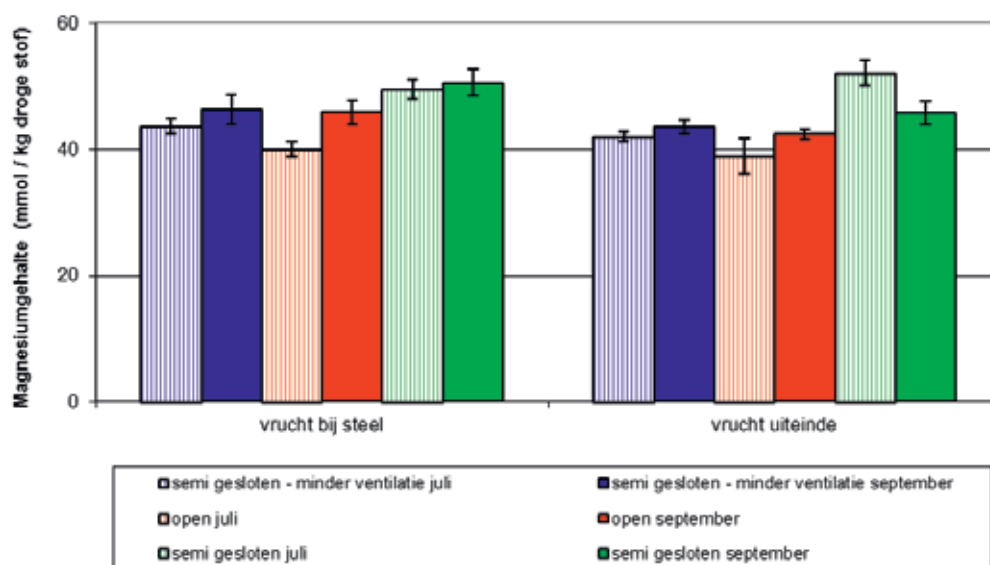
Figuur 7.4. Verdeling van magnesium in de jonge bladeren.

In de oude bladeren zijn de magnesiumgehalten juist hoger in de geconditioneerde afdelingen, zowel bij bemonstering in juli als in september (Figuur 7.5.).



Figuur 7.5. Verdeling van magnesium in de oude bladeren.

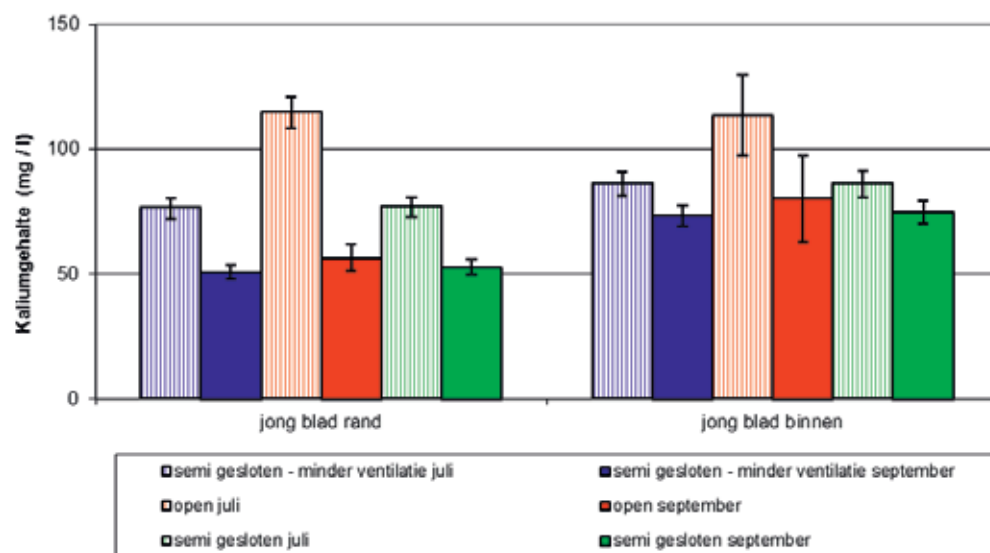
De magnesiumgehalten in de vruchten zijn in de open kas in juli lager dan in de geconditioneerde afdelingen. In september zijn deze verschillen nagenoeg verdwenen.



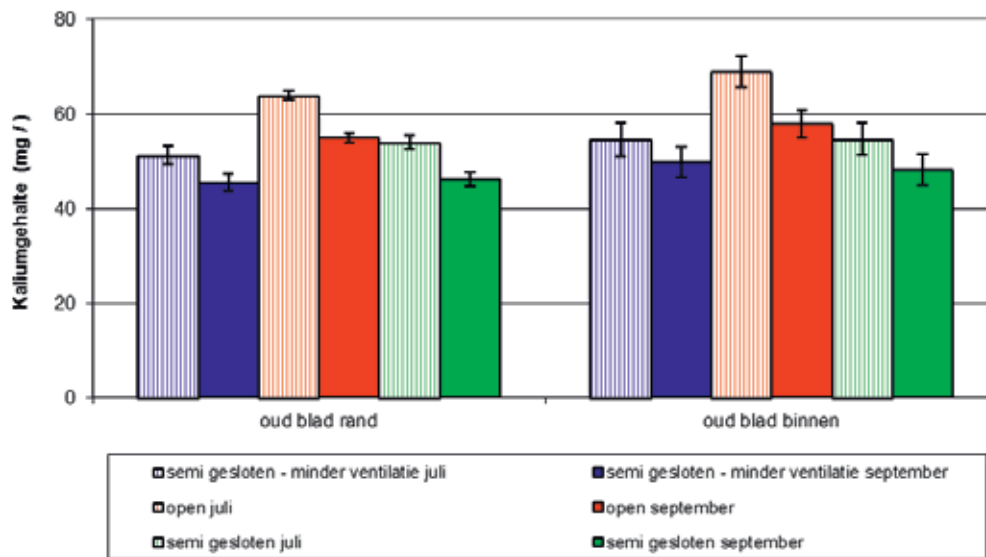
Figuur 7.6. Verdeling van magnesium in de vruchten.

7.3 Kalium

Het kaliumgehalte in de jonge bladeren is in juli hoger in de open kas dan in de geconditioneerde afdelingen (Figuur 7.7.). Deze verschillen zijn in september verdwenen. Ook in de oude bladeren is het kaliumgehalte in de open kas in juli hoger dan in de geconditioneerde afdelingen, al zijn deze verschillen minder uitgesproken dan in de jonge bladeren (Figuur 7.8.).

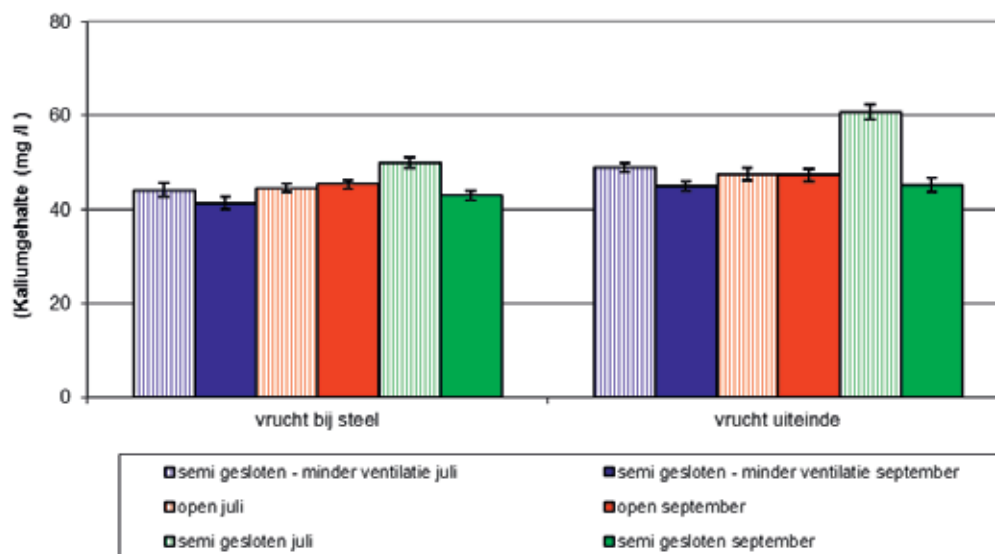


Figuur 7.7. Verdeling van kalium in de jonge bladeren.



Figuur 7.8. Verdeling van kalium in de oude bladeren.

Het kaliumgehalte in de vruchten verschilt nauwelijks tussen de verschillende behandelingen en de bemonsteringen van juli en september. Opvallend is het hogere kaliumgehalte in de geconditioneerde kas snel,snel in vergelijking tot de open kas in juli, zonder dat daar een directe verklaring voor te geven is.



Figuur 7.9. Verdeling van kalium in de vruchten.

7.4 Conclusies nutriëntenopname

De nutriëntengehaltes in de open kas en geconditioneerde afdelingen vertonen op hoofdlijnen geen verschillen. De nutriëntengehaltes zijn hoog genoeg om geen problemen met groei te verwachten. Er is alleen een duidelijk effect waargenomen van de hogere verdamping in de open kas in vergelijking tot de geconditioneerde afdelingen op de calciumgehaltes in de vruchten en in de jonge bladeren. Door de hogere verdamping in het (zonnige) voorjaar zijn de calciumgehaltes in de jonge bladeren in de open kas hoger dan in de geconditioneerde afdelingen, omdat het calcium met de waterstroom mee het blad ingevoerd wordt. Daarentegen zijn in de open kas de calciumgehaltes in de vruchten lager, zowel bij de steel als in het uiteinde van de vrucht. Deze waarden zijn echter niet zodanig laag dat ze neusrot veroorzaken, hetgeen overeenstemt met het feit dat er geen neusrot in dit experiment is waargenomen. Een laag calciumgehalte in de bladranden van jonge bladeren kan leiden tot het optreden van bladrandjes (IJdo *et al.* 2011). In de open kas traden er duidelijk minder bladrandjes op dan in de geconditioneerde kassen, wat het gevolg kan zijn van een hoger calciumgehalte in de jonge bladeren van de tomaten in de open kas.

8 Resultaten – fotosynthese

In hoofdstuk 1.2.2 (CO₂ respons en efficiëntie) is een aantal hypothesen geformuleerd ten aanzien van de fotosynthese en de efficiëntie van het fotosyntheseproces gedurende de dag en in afhankelijkheid van klimaatfactoren:

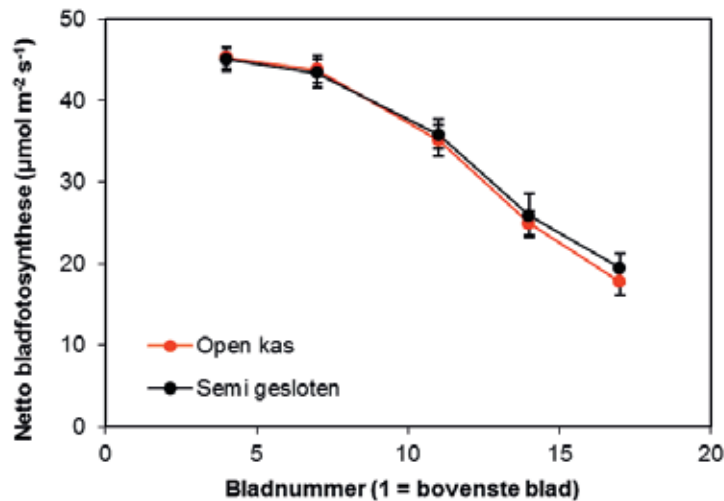
- De momentane CO₂ opnamesnelheid van gewas wordt vooral bepaald door de lichtintensiteit. Daarnaast spelen interacties met temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid een rol. Dit alles zolang er geen aanpassing is van het fotosynthese apparaat aan de CO₂ concentraties in de geconditioneerde kas, die langdurig hoog zijn.
- Gedurende de dag treedt er variatie op in fotosynthese-eigenschappen. Hierin spelen de heersende omstandigheden een rol (licht, temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid). Daarnaast spelen aan het begin en einde van de lichtperiode huidmondjes een rol. Deze openen en sluiten geleidelijk, met als gevolg dat de efficiëntie van de fotosynthese op die momenten lager kan zijn dan op andere momenten van de dag. Over het algemeen is dit niet zichtbaar in de fotosynthese, omdat de lichtintensiteiten op die momenten toch laag zijn.
- Aan het einde van de dag kan er feed-back inhibitie optreden: een ophoping van assimilaten aan het einde van de dag met als gevolg een lagere CO₂ opname (fotosynthese).

8.1 Adaptatie aan langdurig hoge CO₂ concentraties

In het experiment van gewasmanagement in 2009 zijn uitgebreide metingen gedaan aan respons van fotosynthese op reeksen lichtintensiteiten, CO₂ concentraties, temperaturen en vochtdeficieten (Dieleman *et al.* 2011). Daaruit bleek dat bij hoge lichtintensiteiten het positieve effect van hogere CO₂ concentraties op de fotosynthese groter is dan bij weinig licht. Dit effect is nog sterker bij hogere temperaturen (tot 34 °C). Dat houdt in dat als er veel licht is en de CO₂ concentratie hoog is, een omstandigheid die typisch is voor geconditioneerde kassen, een hogere temperatuur positief is voor de aanmaak van assimilaten. Dit geldt met name voor de bovenste bladeren die het meeste licht onderscheppen.

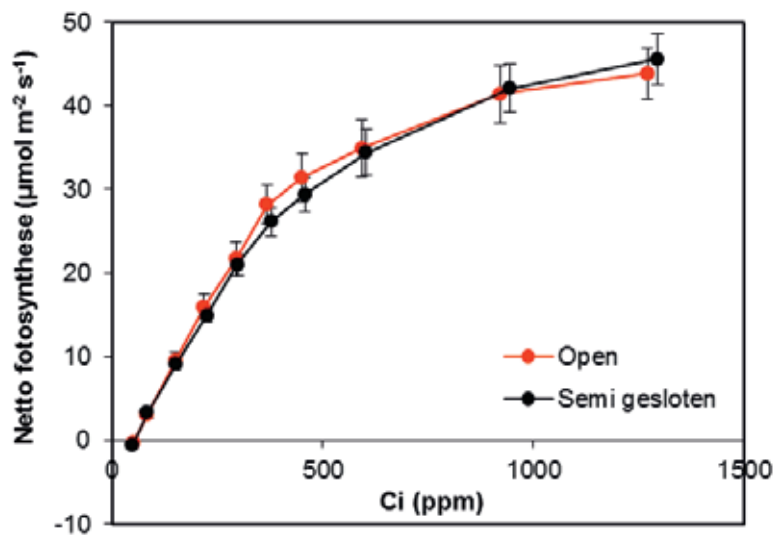
Gedurende het experiment van 2009 is tijdens de teelt de fotosynthese gemeten in de bovenste en middelste bladlaag met vaste omstandigheden in de meetcuve van de fotosynthesemeter om vast te kunnen stellen of de bladeren zich aanpassen aan de CO₂ concentratie in de semi-gesloten kas, die langdurig hoog is, in vergelijking tot de planten in de open kas, waar de CO₂ concentratie in de zomermaanden veel lager ligt. Uit deze metingen bleek dat er in de bovenste bladlaag geen verschillen waren in fotosynthese gedurende teelt tussen planten in de open en de semi-gesloten kas (Dieleman *et al.* 2011). In de middelste bladlaag waren er aan het begin van de metingen wel verschillen in fotosynthese tussen de open en semi-gesloten kas. Deze verschillen verdwenen in de loop van de zomer. Deze resultaten waren aanleiding om in het experiment in 2010 opnieuw metingen te doen om na te gaan of de fotosynthesesystemen van de plant zich aanpassen aan langdurig hoge CO₂ concentraties, zoals die in geconditioneerde kassen kunnen heersen, en zo ja, in welke bladlagen dit gebeurt.

Om dat te meten zijn gedurende de teelt een aantal malen fotosynthesemetingen gedaan op 5 bladlagen onder vaste omstandigheden van licht, temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂ concentratie in de meetcuve. In Figuur 8.1. is te zien dat de fotosynthese in geen van de bladlagen verschilde tussen de open en semi-gesloten kas. Dat geeft aan dat er in geen van de bladlagen adaptatie is opgetreden aan de langdurig hoge CO₂ concentraties in de geconditioneerde kas.



Figuur 8.1. Fotosynthesesnelheid gemiddeld over 5 meetweken gedurende de teelt van 5 bladlagen van tomatenplanten geteeld in de open kas of de semi-gesloten kas met verminderde ventilatie. Verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer.

Op twee momenten in de teelt zijn A/C_i curves gemeten, dat wil zeggen de fotosynthese bij een reeks CO_2 concentraties in de meetcuve. Uit de CO_2 concentratie in de meetcuve en de stomataire geleidbaarheid (maat voor de huidmondjesopening) wordt de C_i berekend, dat is de inwendige CO_2 concentratie in het blad. De fotosynthese (A) en C_i worden dan tegen elkaar uitgezet (Figuur 8.2.).



Figuur 8.2. Verloop van de fotosynthese gemeten aan planten geteeld in de open kas en de semi-gesloten kas met verminderde ventilatie bij verschillende CO_2 concentraties.

Uit de A/C_i curve kunnen de fotosyntheseparameters V_{Cmax} en J_{max} bepaald worden voor beide behandelingen. V_{Cmax} wordt afgeleid uit het eerste gedeelte van de curve en is de maximale carboxylatiesnelheid van Rubisco. J_{max} wordt afgeleid uit het gedeelte van de curve dat afbuigt richting verzadiging en is de maximale capaciteit voor lineair electrontransport.

Wanneer de V_{Cmax} en J_{max} worden bepaald uit deze metingen, blijkt dat de parameters niet verschillen voor de open kas en de geconditioneerde kas (Tabel 8.1.)

Tabel 8.1. Waardes voor de parameters V_{Cmax} en J_{max} bepaald op basis van de A/C_i curve voor de open kas en de geconditioneerde kas. Waardes met dezelfde letter binnen een kolom verschillen niet significant van elkaar.

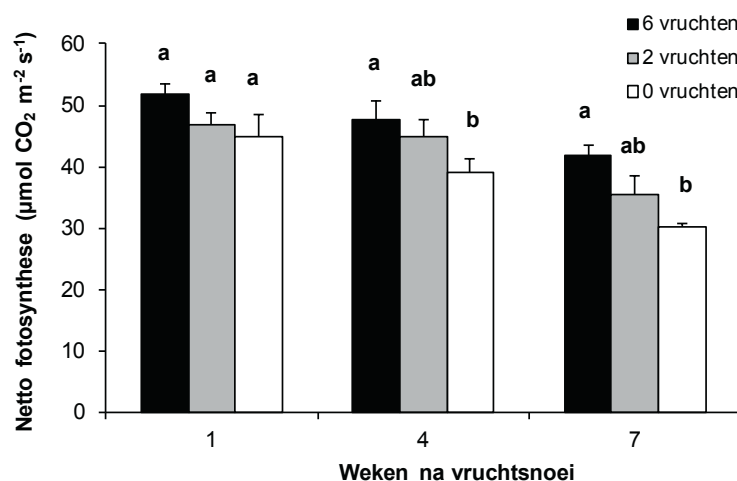
Behandeling	V_{Cmax} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	J_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Open kas	107 a	193 b
Geconditioneerde kas	100 a	199 b

Samenvattend kan gesteld worden dat er geen verschillen zijn in fotosynthesekarakteristieken tussen de open de semi-gesloten kas, ondanks het feit dat er tussen deze kassen wel langdurig grote verschillen zijn in CO_2 concentraties.

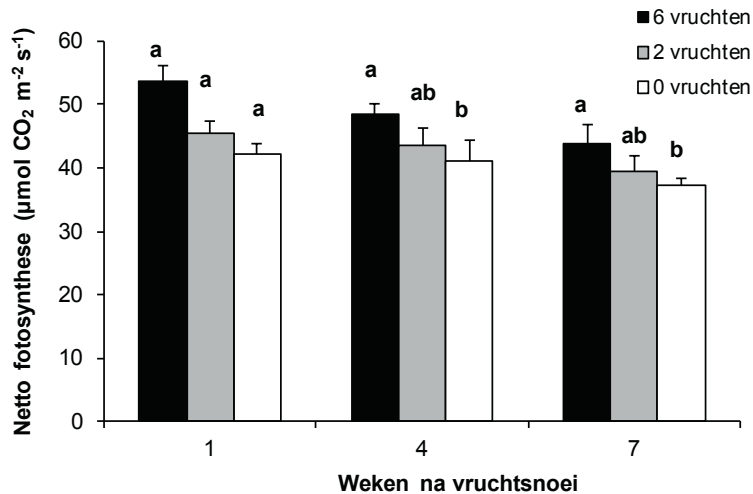
8.2 Fotosynthese bij verminderde assimilatenvraag

Met geconditioneerd telen wordt getracht te sturen op een optimale fotosynthese en een groter aandeel van de assimilaten in de vruchten. Om na te gaan hoe de sinksterkte van het gewas terugkoppelt naar de aanmaak van assimilaten (fotosynthese), zijn in week 30 (eind juli) planten geselecteerd in de semi-gesloten kas met onderkoeling en de open kas, waarvan alle trossen teruggesnoeid werden op 6 vruchten (standaard), 2 vruchten per tros, of waarvan alle trossen verwijderd werden (0 vruchten per tros). Eén, 4 en 7 weken na vruchtsnoei werd de fotosynthese van de bovenste bladeren van deze planten gemeten. Gedurende deze periode werden ook de nieuw aangelegde trossen teruggesnoeid op 6, 2 of 0 vruchten per tros.

De netto bladfotosynthese van de planten uit zowel de semi-gesloten kas als de open kas was lager als er meer vruchten verwijderd werden (Figuren 8.3 en 8.4). Dit effect was één week na vruchtsnoei nog niet aantoonbaar, maar in de loop van de tijd werd het effect steeds sterker.



Figuur 8.3. Netto bladfotosynthese van planten uit een geconditioneerde kas 1, 4 of 7 weken nadat alle trossen aan de plant teruggesnoeid waren op 6 vruchten per tros (standaard), 2 vruchten per tros, of alle trossen verwijderd waren. Fotosynthese werd gemeten bij $1860 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 27°C en 1000 ppm CO_2 . Verschillende letters binnen een week geven aan dat er aantoonbare verschillen zijn ($P > 0.05$).

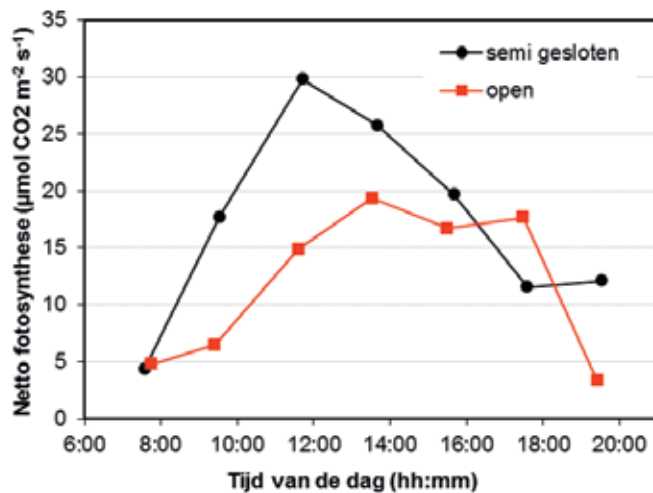


Figuur 8.4. Netto bladfotosynthese van planten uit de open kas 1, 4 of 7 weken nadat alle trossen aan de plant teruggesnoeid waren op 6 vruchten per tros (standard), 2 vruchten per tros, of alle trossen verwijderd waren. Fotosynthese werd gemeten bij $1860 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 27°C en 1000 ppm CO_2 . Verschillende letters binnen een week geven aan dat er aantoonbare verschillen zijn ($P > 0.95$).

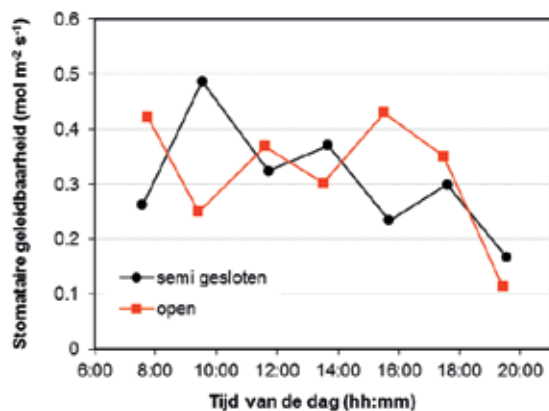
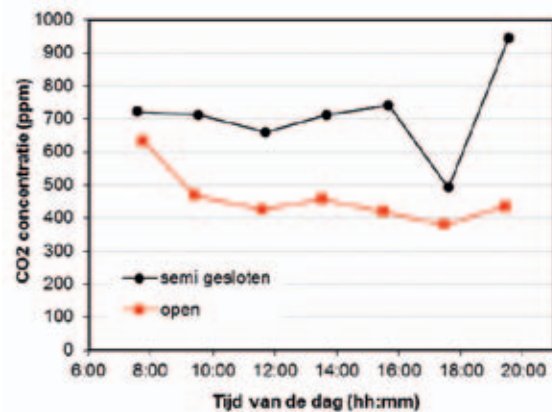
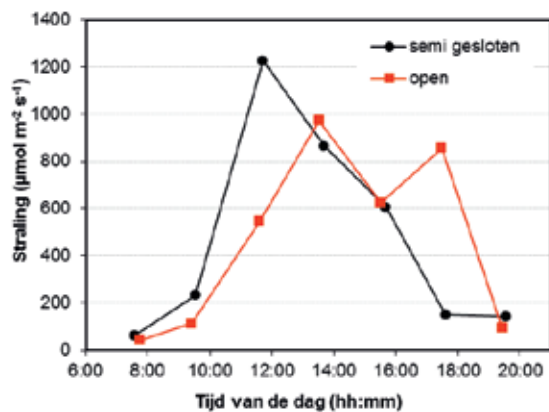
Deze resultaten laten zien dat wanneer de assimilatenvraag in de plant afneemt, in dit geval door het verwijderen van een deel van de vruchten of alle vruchten, ook de productie van assimilaten terugloopt. Dit betekent dat het van belang is de assimilatenvraag in het gewas op peil te houden, om daarmee te voorkomen dat de assimilatenproductie van een gewas terugloopt. Overigens mag het aantal vruchten aan de tros ook niet te hoog zijn, omdat dit ten koste gaat van de uniformiteit in afrijping binnen een tros, en omdat dit ten koste kan gaan van de vegetatieve gewasgroei.

8.3 Dagpatronen

Een andere manier om na te gaan of er assimilatenverzadiging optreedt in de loop van de dag, is het dagpatroon van de fotosynthese meten. Dit is gedaan in zowel de open kas als een geconditioneerde kas door elke twee uur de straling, CO_2 concentratie en temperatuur te meten, deze in te stellen in de meetcuve van de fotosynthesemeter en onder deze omstandigheden de fotosynthese te meten in de bovenste bladlaag (Figuur 8.5.) en de middelste bladlaag (Figuur 8.8.). De gemeten fotosynthesewaarden volgen daardoor het patroon van de straling en van de CO_2 concentratie (Figuren 8.6 en 8.9). Daarnaast is het verloop van de stomataire geleidbaarheid weergegeven, een maat voor de openingstoestand van de huidmondjes (Figuren 8.6 en 8.9). In Figuur 8.6. is te zien dat de stomataire geleidbaarheid aan het einde van de dag afneemt, richting het moment van zonsondergang. De stomataire geleidbaarheid in de middelste bladlaag is lager dan in de bovenste bladeren, en begint al eerder op de dag af te nemen door de lage lichtniveaus op deze hoogte in het gewas.

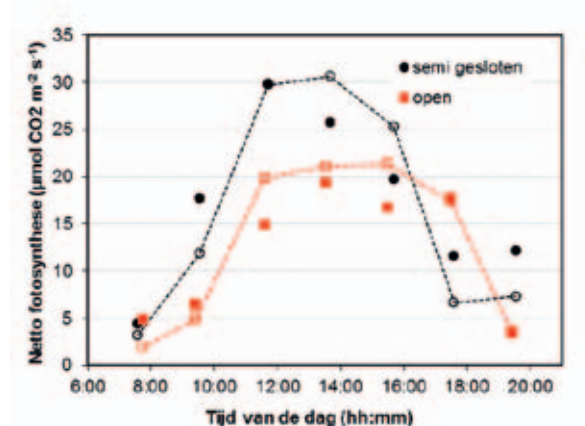


Figuur 8.5. Dagpatroon van de netto bladfotosynthesesnelheid van de bovenste bladlaag gemeten op 4 augustus in de open kas en een semi-gesloten kas. De omstandigheden in de meetcuvet varieerden met de omstandigheden in de kas (zie Figuur 8.6.).

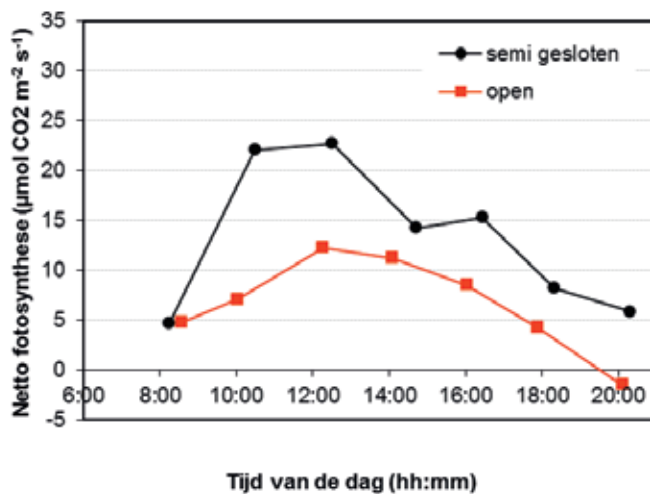


Figuur 8.6. Verloop van de straling (links), de CO₂ concentratie (rechts) en de stomataire geleidbaarheid (onder) in de open kas en semi-gesloten kas op de momenten dat de fotosynthese gemeten werd in de bovenste bladlaag (zie Figuur 8.5.).

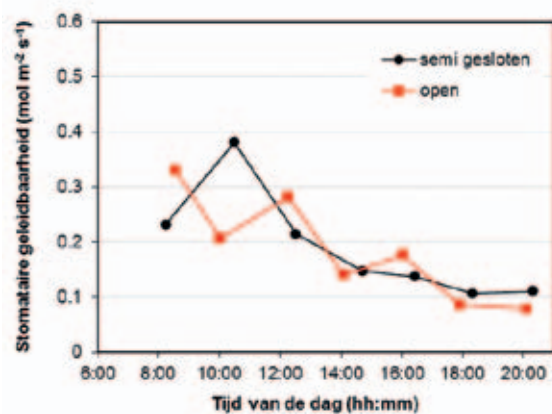
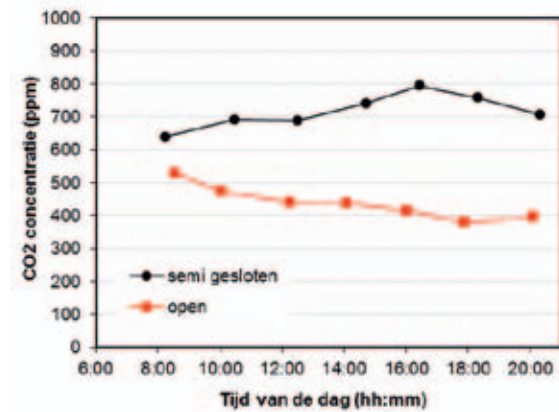
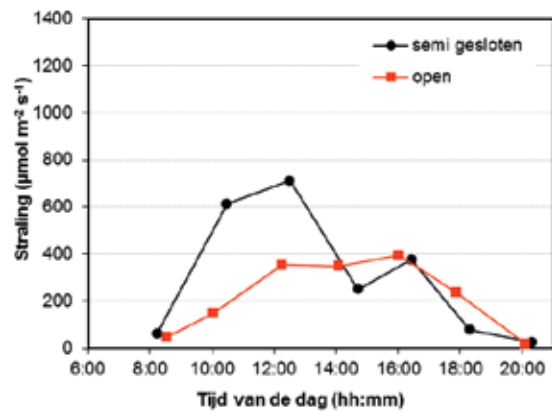
Uit deze fotosynthesemetingen, die gedaan zijn bij variabele omstandigheden in de meetcuve, is het moeilijk te beoordelen of de fotosynthese volledig bepaald wordt door de heersende lichtintensiteit, CO_2 concentratie, VPD en temperatuur. Daarom is de gemeten fotosynthese vergeleken met de fotosynthese, die berekend is met een fotosynthesemodel dat de klimaatfactoren en stomataire geleidbaarheid als in te voeren gegevens gebruikt. In Figuur 8.7. is de vergelijking van de gemeten (dichte symbolen) en berekende fotosynthese (open symbolen, gestreepte lijn) te zien. Hieruit blijkt dat deze redelijk goed overeenstemmen, hetgeen betekent dat er geen andere factor is die de fotosynthese bepaald dan de heersende klimaatfactoren. Er lijkt op basis van deze metingen geen sprake te zijn van remming van de fotosynthese aan het einde van de lichtperiode door assimilatenverzadiging.



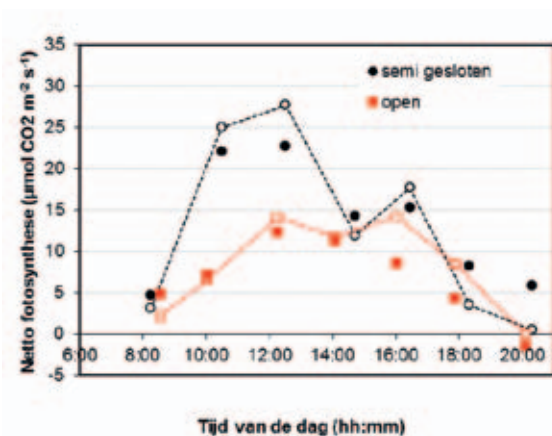
Figuur 8.7. Vergelijk van de gemeten fotosynthese (dichte symbolen) en de berekende fotosynthese (open symbolen, gestreepte lijn) van de bovenste bladlaag in de open kas en een semi-gesloten kas op 4 augustus



Figuur 8.8. Dagpatroon van de netto bladfotosynthesesnelheid van de middelste bladlaag gemeten op 4 augustus in de open kas en een semi-gesloten kas. De omstandigheden in de meetcuve varieerden met de omstandigheden in de kas (zie Figuur 8.9.).



Figuur 8.9. Verloop van de straling (links), de CO₂ concentratie (rechts) en de stomataire geleidbaarheid (onder) in de open kas en semi-gesloten kas op de momenten dat de fotosynthese gemeten werd in de middelste bladlaag (zie Figuur 8.8.).



Figuur 8.10. Vergelijk van de gemeten fotosynthese (dichte symbolen) en de berekende fotosynthese (open symbolen, gestreepte lijn) van de middelste bladlaag in de open kas en een semi-gesloten kas op 4 augustus

Vergelijkbare metingen zijn gedaan op 5 augustus. Deze data zijn te vinden in bijlage II.

8.4 Conclusies

Voor een optimale gewasgroei in geconditioneerde kassen is het van belang te weten of de fotosynthese uitsluitend wordt bepaald door de klimaatfactoren, of dat er andere mechanismen zijn die er voor zorgen dat de fotosynthese minder is dan op grond van de heersende klimaatfactoren verwacht zou kunnen worden. Uit fotosynthesemetingen gedurende de teelt in zowel de open kas als een geconditioneerde kas blijkt dat er geen verschil is in fotosynthese karakteristieken tussen bladeren in beide kassen, ondanks het feit dat er wel langdurig verschillen zijn in CO_2 concentraties. Dat betekent dat de planten zich niet aanpassen aan de hoge CO_2 concentraties. Een reden hiervan kan zijn dat een tomatengewas veel “sinks” heeft in de vorm van de vruchten, wat betekent dat de geproduceerde assimilaten gebruikt kunnen worden door assimilatenvragende organen, voor de groei van de vruchten. Als namelijk van planten een deel van de vruchten of alle vruchten verwijderd worden, is wel een afname van de fotosynthese te zien.

9 Discussie en conclusie

9.1 Temperatuurstrategieën en lengtegroei

Eén van de hypothesen geformuleerd in hoofdstuk 1.2.1 (Temperatuurdynamiek) was “Strekking van stengel, blad en trossteeltjes is gerelateerd aan de temperatuurdynamiek in de ochtend”. Om deze hypothese te toetsen zijn gedurende de teelt de lengtes gemeten van trossteel, segment (stengeldeel met drie bladeren en een tros), blad en het topblaadje in de drie temperatuurstrategiebehandelingen. Uit deze metingen bleek duidelijk dat er geen meetbaar verschil was in lengtes van trossteel, segment, blad en topblaadje tussen de behandelingen waarin snel of langzaam opgewarmd werd of snel of langzaam aan het einde van de dag afgekoeld.

De aanname dat het temperatuurpatroon over de dag de strekking zou beïnvloeden is gebaseerd op het feit dat bekend is dat de strekkingsgroei niet constant is over de dag. In periodes dat de strekking groter is, zou temperatuur een sterkere invloed kunnen hebben op de lengtegroei dan in andere periodes van de dag. In de literatuur zijn een aantal studies bekend waarin gekeken is naar het strekkingspatroon gedurende de dag. Daaruit bleek dat tomatenplanten vooral strekken aan het begin en einde van de nacht. Na zonsopkomst neemt strekking snel af (Bertram & Karlsen, 1994). Dat betekent dat met name de momenten rond zonsopkomst en zonsondergang interessant kunnen zijn voor het beïnvloeden van de lengtegroei. Uit onze eigen metingen bleek ook dat tomatenplanten vooral 's nachts strekken, met name aan het begin van de nacht (Figuur 5.2.). De strekkingsgroei bleek na zonsopkomst en de uren daarna het laagst te zijn. Op welke momenten van de dag dit het meeste effect sorteert is onderzocht door Gertsson (1992) en Dieleman *et al.* (2005). Gertsson onderwierp jonge tomatenplanten aan een temperatuurdaling van 4 °C aan het begin van de dag en aan het begin van de nacht. Het bleek dat een temperatuurdaling aan het begin van de dag leidde tot kortere planten dan de controle, maar een temperatuurdaling aan het begin van de nacht niet. Vergelijkbare resultaten werden gevonden door Dieleman *et al.* (2005), die lieten zien dat een temperatuurdaling van 5 °C aan het begin van de dag leidde tot kortere planten, terwijl dit niet gold voor een temperatuurdaling later op de dag of in het begin van de nacht. De onderzoeken hierboven zijn gedaan aan jonge planten, waarvan de eerste tros bloeide. Dieleman *et al.* (2005) keken ook naar het effect van een DROP van 2 °C op een producerend tomatengewas, en vonden daarvan geen effect op lengtegroei.

Het effect van temperatuur op strekking bij tomaat richt zich altijd op dag- of nachttemperaturen, op DIF (difference, het verschil tussen dag- en nachttemperatuur), op een DROP (een tijdelijke daling van de temperatuur), maar niet op de snelheid waarmee deze temperatuurovergangen gerealiseerd worden. Daarmee is het experiment dat hier gedaan is uniek. Het blijkt uit de resultaten dat de variaties die wij aangelegd hebben in de snelheid van opwarmen en afkoelen geen effect gehad hebben op de strekking van het gewas. Dat betekent dat de ruimte die een teler heeft om een opstookstrategie of afkoelstrategie te kiezen groter is dan tot nu toe werd aangenomen.

9.2 Temperatuurstrategieën en vruchtgroei

In de praktijk laten tomatentelers aan het einde van de dag de kasluchttemperatuur heel snel zakken, door de ramen ver te openen. De aanname daarbij is dat de daling van de vruchttemperatuur na-ijlt bij die van de rest van de plant, en dat de relatief warmere vruchten een sterkere sink vormen voor assimilaten, wat de generatieve groei stimuleert.

Uit de literatuur is bekend dat wanneer de groei van de vruchten niet beperkt wordt door de assimilatenvoorziening, de kortere groeiduur door de hogere temperatuur ruimschoots gecompenseerd wordt door een sterke toename in groeisnelheid, resulterend in zwaardere vruchten (Marcelis & Baan Hofman – Eijer, 1993). Echter als de vruchtgroei beperkt wordt door de assimilatenvoorziening, zoals dat in een vruchtdragend tomatengewas in Nederlandse kasomstandigheden bijna altijd geldt, is de toename van de groeisnelheid bij hogere temperatuur kleiner. Onder die omstandigheden kan de toename van de groeisnelheid de afname van de uitgroeiduur niet compenseren, en dat leidt tot minder zware vruchten.

In dit experiment is de hypothese “Vruchtgrootte wordt bepaald door de snelheid van daling van de temperatuur aan het einde van de dag” getoetst door de vruchtgroei in de drie afdelingen met verschillende temperatuurstrategieën te volgen in relatie tot blad- en vruchttemperatuur.

Uit de metingen van kasluchttemperatuur, temperatuur van afrijpende vruchten en temperatuur van bladeren in de nabijheid van de afrijpende tros blijkt inderdaad dat wanneer de kas snel wordt afgekoeld aan het einde van de dag door de ramen ver te openen, de temperatuur van de bladeren snel afneemt en de vruchttemperatuur daarbij na-ijlt, waarbij de vruchttemperatuur in de afdeling die langzaam wordt afgekoeld relatief warmer blijft ten opzichte van de bladeren dan in de kas die snel wordt afgekoeld. Dit temperatuurverschil heeft echter geen meetbaar effect op de vruchtgrootte of het vruchtgewicht. Ook wanneer trossen gedurende hun hele ontwikkeling in een cuvet worden geplaatst, waarin de temperatuur 4 °C hoger is dan de kaslucht, heeft dit geen meetbaar effect op versgewicht en drooggewicht van deze vruchten. Wel wordt de uitgroeiduur teruggebracht van 66 naar 58 dagen in de verwarmde cuvet.

De strategie van afkoelen aan het einde van de dag had geen meetbaar effect op vruchtgroei, en daarmee ook niet op de assimilatenverdeling en productie. De verschillen in vruchttemperatuur waren onvoldoende om effect te hebben, daarvoor zouden grotere temperatuurverschillen en dus een sterkere afkoelstrategie nodig zijn geweest. Er zit wel een energiecomponent aan de afkoelstrategie. Zolang het dagen zijn met een warmtevraag wordt energie bespaard als aan het einde van de dag de temperatuur niet snel wordt verlaagd, maar de warmte in de kas wordt gehouden. Vaak moet in de praktijk namelijk om de nachttemperatuur te realiseren weer worden gestookt.

9.3 Verdamping en nutriëntenopname

Eén van de hypothesen geformuleerd in hoofdstuk 1.2.1 (Temperatuurdynamiek) was dat de strategie van opstoken aan het begin van de dag en afkoelen aan het einde van de dag effect zou hebben op de verdamping en nutriëntenopname. Evenals in het experiment van 2009 bleek uit de metingen van de gewasverwarming met weeggoten en gewasweging dat de verdamping in de open kas 30-40% hoger is dan in de geconditioneerde afdelingen. Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in luchtvochtigheid; de VPD was in de open kas hoger dan in de geconditioneerde afdelingen. De verschillen in totale verdamping per dag tussen de geconditioneerde afdelingen waren beperkt. Om te kijken naar het directe effect van langzaam of snel opwarmen of afkoelen van de kaslucht, werd tijdens het opstoken en afkoelen op basis van 5-minuten waardes gekeken naar de verdamping. Daarbij bleek dat er geen meetbare verschillen waren in verdamping bij de verschillende opwarmstrategieën. Aan het einde van de dag verschilt de verdamping wel tussen de behandelingen: de afdeling waarbij de temperatuur langzaam teruggebracht wordt, heeft een hogere temperatuur en een hogere luchtvochtigheid en daardoor een lagere verdampingssnelheid dan de behandelingen waarbij de kasluchttemperatuur snel teruggebracht wordt door de ramen snel ver te openen. Dat betekent dat het inderdaad zo is dat de snelheid van afkoelen een meetbaar effect heeft op de momentane verdamping van een gewas.

Om na te gaan of de verschillende temperatuurbedelingen verschillen in de opname van nutriënten zijn op twee momenten in de zomer en het najaar de nutriëntengehaltes van vruchten, jonge bladeren en oude bladeren gemeten. De meest duidelijke verschillen zijn gevonden in calciumgehaltes. In juli, na een warme en zonnige periode, was het calciumgehalte in de jonge bladeren, die veel hadden verdampt hoog, met name in de open kas waar de temperatuur het sterkst opgelopen was. Dit heeft waarschijnlijk geleid tot minder bladrandjes in de open kas dan in de geconditioneerde afdelingen. Het calciumgehalte in de (uiteindes van) de vruchten was op dat moment juist laag, hetgeen verklaard kan worden door de hoge verdamping en daarmee aanvoer van calcium naar de bladeren, waardoor er weinig calcium via worteldruk naar de vruchten wordt getransporteerd op de momenten dat er weinig verdamping was. Deze verschillen in calciumgehaltes waren in september grotendeels verdwenen. Deze verschillen in nutriëntengehaltes waren met name zichtbaar tussen de open kas en de geconditioneerde afdelingen. Op basis van de metingen kon niet vastgesteld worden dat er verschillen waren in nutriëntengehaltes tussen de behandelingen die verschilden in opstook- of afkoelstrategie.

9.4 Efficiëntie van fotosynthese

In de inleiding van dit rapport is een aantal hypothesen geformuleerd ten aanzien van de fotosynthese en de efficiëntie van het fotosyntheseproces gedurende de dag en in afhankelijkheid van klimaatfactoren, die met metingen in dit project getoetst zijn:

1. De momentane CO₂ opnamesnelheid van gewas wordt vooral bepaald door de lichtintensiteit. Daarnaast spelen interacties met temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid een rol. Dit alles zolang er geen aanpassing is van het fotosynthese apparaat aan de CO₂ concentraties in de geconditioneerde kas, die langdurig hoog zijn.
2. Gedurende de dag treedt er variatie op in fotosynthese-eigenschappen. Hierin spelen de heersende omstandigheden een rol (licht, temperatuur, CO₂ en luchtvochtigheid). Daarnaast spelen aan het begin en einde van de lichtperiode huidmondjes een rol. Deze openen en sluiten geleidelijk, met als gevolg dat de efficiëntie van de fotosynthese op die momenten lager kan zijn dan op andere momenten van de dag. Over het algemeen is dit niet zichtbaar in de fotosynthese, omdat de lichtintensiteiten op die momenten toch laag zijn.
3. Aan het einde van de dag kan er feed-back inhibitie optreden: een ophoping van assimilaten aan het einde van de dag met als gevolg een lagere CO₂ opname (fotosynthese).

In het experiment van gewasmanagement in 2009 (koeling onder de goot of koeling boven in het gewas) zijn uitgebreide metingen gedaan aan de fotosynthesesnelheid bij reeksen lichtintensiteiten, CO₂ concentraties, vochtdeficieten en temperaturen. De vraag in dit experiment was of de relaties die in 2009 vastgesteld zijn altijd gelden, of dat er processen zijn die er toe leiden dat de fotosynthese van een blad of een gewas niet is wat je op basis van de klimaatomstandigheden zou mogen verwachten. Mogelijke redenen voor zo'n afwijking zouden adaptatie aan langdurig hoge CO₂ concentraties of feed-back inhibitie kunnen zijn.

In 2009 zijn metingen gedaan gedurende de teelt aan de fotosynthese van de bovenste en middelste bladlaag in een open kas en een geconditioneerde kas met onderkoeling. Uit die metingen bleek dat de fotosynthese in de bovenste bladlaag niet verschilde voor planten in de open of geconditioneerde kas, maar dat er verschillen waren in fotosynthese van de middelste bladlaag die niet goed verklaarbaar waren. Daarom zijn in 2010 deze metingen herhaald en uitgebreid naar 5 bladlagen. Uit de metingen in 2010 bleek dat er geen verschil was in fotosynthese in de verschillende bladlagen tussen de open kas en de geconditioneerde kas. Dit geeft aan dat het fotosynthesesysteem zich niet heeft aangepast aan de hoge CO₂ concentraties in de geconditioneerde kas. Dat betekent dat er geen verlies aan efficiëntie van de fotosynthese is bij de langdurige hoge CO₂ concentraties.

Eén van de redenen hiervoor kan zijn dat een vruchtdragend tomatengewas een grote assimilatenbehoefte heeft om alle vruchten te laten uitgroeien (hoge sinksterkte). Dat betekent dat de assimilaten die aangemaakt worden gebruikt kunnen worden voor de groei. Bij hoge CO₂ concentraties neemt de fotosynthese toe. Uit onderzoeken in de 1980er en 1990er jaren bleek dat de bladfotosynthese bij langdurige CO₂ concentraties niet altijd op dit niveau gehandhaafd kon worden (Peet *et al.* 1986; Yelle *et al.* 1989; Besford *et al.* 1990). Latere onderzoeken lieten zien dat tenminste een deel van dit effect werd veroorzaakt door een te klein wortelvolumen of te weinig vruchten aan de plant waardoor er een terugregulering van de fotosynthese plaatsvond (Arp, 1991; Usuda & Shimogawara, 1998; Makino & Mae, 1999). Daarom is in dit project ook gekeken wat er gebeurt met de fotosynthese als het aantal "sinks" kunstmatig verlaagd werd door het verwijderen van alle tomaten van planten of het terugsnijden van alle trossen op 2 vruchten. Uit de metingen blijkt dat na het verwijderen van (een deel van) de vruchten (dus de sinks voor assimilaten) de aanmaak van assimilaten (de fotosynthese) afneemt. Dit geeft aan dat een belangrijke reden dat een tomatengewas goed om kan gaan met langdurig hoge CO₂ concentraties, het feit is dat er voldoende sinks zijn waar de geproduceerde assimilaten naar toe kunnen om gebruikt te worden voor de groei. Gewassen die veel minder sinks hebben, zullen mogelijk eerder hun fotosynthesesysteem aanpassen aan de langdurig hoge CO₂ concentraties zoals die voorkomen in geconditioneerde kassen.

Verder blijkt uit de metingen van de fotosynthese gedurende de dag, en de vergelijking daarvan met berekeningen met een fotosynthesemodel, dat gedurende de hele dag de gemeten fotosynthese verklaard kan worden door de heersende klimaatfactoren. Dat betekent dat het niet waarschijnlijk is dat er feed-back inhibitie optreedt. Er is een patroon van stomataire geleidbaarheid, een maat voor de huidmondjesopening, die verband houdt met de klimaatfactoren. Rond zonsopkomst openen de huidmondjes geleidelijk, met toenemende instraling. Aan het einde van de dag, wanneer de straling afneemt, sluiten de huidmondjes geleidelijk. Uit de metingen die gedaan zijn blijkt dat de huidmondjesopening gedurende de dag voldoende is om niet beperkend te zijn voor de fotosynthese. De stomataire geleidbaarheid is lager voor de middelste bladlaag dan voor de bovenste bladlaag, hetgeen verklaard wordt door het feit dat daar de lichtintensiteit veel lager ligt.

9.5 Conclusie

In dit experiment zijn temperatuurstrategieën aangelegd die verschillen in opstooksnelheid en afkoelsnelheid. Deze aangelegde temperatuurstrategieën bleken geen effect te hebben op de groei en ontwikkeling van het gewas en de productie van tomaten. Dat betekent dat er in de praktijk meer ruimte is om de temperatuur te sturen aan het begin en het einde van de dag, zonder de etmaaltemperatuur te beïnvloeden dan tot nu toe werd gedacht.

10 Literatuur

- Arp, W.J., 1991.
Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. *Plant Cell and Environment* 14: 869-875
- Bakker, J.C., De Zwart, H.F. & Campen, J.B., 2006.
Greenhouse cooling and heat recovery using fine wire heat exchangers in a closed pot plant greenhouse: design of an energy producing greenhouse. *Acta Horticulturae* 719: 263-270.
- Bertram, L., Karlsen, P., 1994.
Patterns in stem elongation rate in chrysanthemum and tomato plants in relation to irradiance and day/night temperature. *Scientia Horticulturae* 58: 139-150.
- Besford, R.T., Ludwig, L.J., Withers, A.C., 1990.
The greenhouse effect: acclimation of tomato plants growing in high CO₂, photosynthesis and ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase protein. *Journal of Experimental Botany* 41: 925-931
- De Graaf, R., De Gelder, A. and Blok, C., 2004.
Advanced weighing equipment for water, crop growth and climate control management. *Acta Horticulturae* 664: 163-167.
- De Zwart, H.F., 2008.
Overall energy analysis of (semi) closed greenhouses. *Acta Horticulturae* 801: 811-818.
- De Zwart, H.F., Van Noort, F.R. & Bakker, J.C., 2008.
Energieprestatie en teeltkundige ervaringen in de energieproducerende kas : eindrapport van een 2 jaar durend praktijkexperiment. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 63 pp.
- Dieleman, A., E. Raaijmakers, E. Meinen, 2005.
Temperatuuronderzoek bij tomaat. Nota 360 Plant Research International, 42 pp.
- Dieleman, A., De Gelder, A., Eveleens, B., Elings, A., Janse, J., Lagas, P., T. Qian, Steenhuizen, J., Meinen, E., 2009.
Tomaten telen in een geconditioneerde kas: groei, productie en onderliggende processen. Nota 633, Wageningen UR Glastuinbouw, 54 pp.
- Dieleman, A., A. de Gelder, J. Janse, P. Lagas, B. Eveleens, T. Qian, A. Elings, J. Steenhuizen, C. Stanghellini, E. Nederhoff, A. Savvides, B. Farneti, R. de Visser, E. Woltering, L. Marcelis, 2012. Verticale temperatuurgradiënten in geconditioneerde kassen. Effecten op groei, ontwikkeling en onderliggende processen bij tomaat. Rapport GTB-1122, Wageningen UR Glastuinbouw, 125 pp.
- Elings, A., Meinen, E., Dieleman, A., 2011.
Gewasmanagement in semi-gesloten teeltsystemen. Simulaties van gewasgroei en -ontwikkeling. Rapport GTB-1123, Wageningen UR Glastuinbouw, 47 pp.
- Eveleens, B., De Gelder, A., Dieleman, A., Elings, A., Janse, J., Qian, T., Lagas, P. & Steenhuizen, J., 2009.
Effecten van verneveling op groei en ontwikkeling van tomaat. Teelt van eind april tot eind augustus. Nota 643, Wageningen UR Glastuinbouw, 33 pp.
- Gelder, A. de, Heuvelink, E. & Opdam, J.J.G., 2005.
Tomato yield in a closed greenhouse and comparison with simulated yields in closed and conventional greenhouses. *Acta Horticulturae* 691: 549-552.
- Gertsson, U.E., 1992.
Influence of temperature on shoot elongation in young tomato plants. *Acta Horticulturae* 327: 71-76.
- Makino, A., Mae, T., 1999.
Photosynthesis and plant growth at elevated levels of CO₂. *Plant and Cell Physiology* 40: 999-1006
- Marcelis, L.F.M., Baan Hofman – Eijer, L.R., 1993.
Effect of temperature on the growth of individual cucumber fruits. *Physiologia Plantarum* 87: 321-328.
- Nawrocki, K.R., 1985.
Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwarmingspijpen in kassen. Rapport 73, IMAG, Wageningen.

- Opdam, J.J.G., Schoonderbeek, G.G., Heller, E.M.B. & De Gelder, A., 2005.
Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Horticulturae* 691: 517-524.
- Peet, M.M., Huber, S.C., Patterson, D.T., 1986.
Acclimation to high CO₂ in monoecious cucumbers : II. Carbon exchange rates, enzyme activities, and starch and nutrient concentrations. *Plant Physiol.* 80: 63-67.
- Raaphorst, M.G.M., Kempkes, F.L.K., Heuvelink, E., Kaarsemaker, R.C. & Bakker, M.J., 2006.
Teeltconcept voor de geconditioneerde kas, Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 34 pp.
- Raaphorst, M., Van Weel, P., Pijnakker, J. & Dieleman, A., 2007.
Telen in de bio-optimaal kas. Proef met een biologische tomatenteelt onder geconditioneerde omstandigheden. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 33 pp.
- Schoonderbeek G.G., A. de Gelder, E.M.B. Heller & J.J.G. Opdam, 2003.
Telen in een gesloten tuinbouwkas; praktijkexperiment. Rapport Ecofys en Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 52 pp.
- Usuda, H., Shimogawara, K., 1998.
The effects of increased atmospheric carbon dioxide on growth, carbohydrates, and photosynthesis in radish, *Raphanus sativus*. *Plant and Cell Physiology* 39: 1-7
- IJdo, M., J. Janse, J. Zijlstra & W. Voogt, 2011.
Bladrandjes bij tomaat: Fysiologische achtergronden van cel- en weefselstevigheid in relatie tot het ontstaan van bladrandjes en infectie met botrytic cinerea L. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 37 pp.
- Yelle, S., Beeson, R.C., Trudel, M.J., Gosselin, A., 1990.
Duration of CO₂ enrichment influences growth, yield, and gas exchange of two tomato species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 52-57.

Bijlage I Bevindingen van de BCO

Teeltverslag

Begin april stond de kop in de open kas er generatief op. In de kas met langzame overgangen van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur zag het gewas er wat groeizamer uit. Deze verschillen waren volgens de BCO te wijten aan de hogere temperaturen in de open kas in vergelijking tot de kas met langzame temperatuurovergangen van nacht- naar dag- en van dag- naar nachttemperatuur.

Begin mei stond het gewas in de open kas volgens de BCO 'te mooi' met wat weinig grofheid in de buik van de plant. Er was wat verschil in grofheid tussen de zon- en de schaduwrij. In deze afdeling was tot en met week 18 wel het meeste geoogst. Tot begin mei werd er om de week een blaadje in de kop weggenomen. In de zomermaanden werd dit niet gedaan, begin juli werd er weer mee gestart. Er werd gestreefd naar circa 15 à 16 bladeren aan de plant omdat voldoende bladoppervlakte te houden. In de behandeling "langzaam, langzaam" waren begin mei in vergelijking met 2 weken geleden de tomaten in de buik duidelijk grover geworden. Waarschijnlijk was dit vooral een effect van het hogere CO₂-gehalte en mogelijk deels ook een direct effect van het koelen. Het gewas oogde van onderaf voller, vegetatiever en zag er homogeen uit. De kop zag er sterker uit en de bloemkwaliteit was beter dan in de open afdeling. De kop was generatiever geworden ten opzichte van 2 weken geleden: dit is mogelijk een effect van de hogere plantbelasting (meer en grovere tomaten).

Eind mei stond de plant goed in evenwicht in de open kas. De BCO beval aan de etmaaltemperaturen wat te drukken in deze afdeling. In de kas met langzame overgangen van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur was de kop vrij vegetatief met zwakkere trossen en behoorlijk wat meer bladrandjes dan in de open kas. Het beeld van de kop kwam niet overeen met de buik van de plant: er hingen namelijk grove tomaten aan. De productie van deze afdeling liep circa een halve kilo achter op de open kas. Ook hier beval de BCO aan om de etmaaltemperatuur te verlagen en in alle afdelingen meer met de groeibuis te gaan werken om tomaten er meer af te stoken.

Begin juni stond de kop krachtig en was de trosstand bovenin in de open kas goed. Volgens de BCO was er wat aan grofheid ingeleverd ten opzichte van enkele weken geleden. Het advies was daarom 's middags wat meer te pieken in temperatuur, waardoor de CO₂ concentratie ook hoger kan blijven. Het aantal kniktrossen is nu hoger dan enkele weken geleden. Sommige stengels hadden kleinere vruchten, mede als gevolg van veel kniktrossen. Bladrandjes of bladbotrytis kwamen in de open kas niet voor. In de kas met langzame overgangen van nacht- naar dagtemperatuur en van dag- naar nachttemperatuur waren nu meer kniktrossen bovenin te zien dan in de open kas. Ook waren er bladrandjes met soms daarop Botrytis. De vruchten onderin waren wel grover.

Half juni stond in de open kas de kop wat vegetatief, mogelijk het resultaat van donker weer in de tweede week van juni. Er kwamen wel bladrandjes voor, maar het gewas stond er vitaal op. Het vruchtgewicht nam toe, maar lag in week 23 in deze afdeling ongeveer 10 g lager dan in de gekoelde afdelingen. In de kas met de langzame temperatuurovergangen stond het gewas er volgens de BCO nu heel goed bij ondanks de kniktrossen halverwege de plant. De plantbelasting was hoger (10 vruchten/m²) dan in de open kas. Er waren wel meer bladrandjes en Botrytis dan in de open kas maar deze werden zoveel mogelijk verwijderd.

Begin juli is in de open kas veel gewasgroei geweest, er was één blaadje uit de kop is verwijderd. In de kas met de langzame temperatuurovergangen stond het gewas er goed bij en de kniktrossen werden toch gevuld. De temperatuur in de gekoelde afdelingen bleef lager dan in de open kas. Dit was niet op te vangen door klimaatregelingen.

Half juli was in de open kas de kop verbeterd en de vruchten van de bovenste trossen waren nu goed van kleur. Onderin bleven de vruchten te donker. Rond de middag werd nu duidelijk meer water gegeven en EC's van het drainwater waren in alle kassen ongeveer gelijk. De kop mag echter niet te vegetatief worden: de tros heeft namelijk neiging om wat te steken. Deze week is er weer een blaadje uit de kop gehaald, dat was volgens de BCO een goede actie.

In de “langzaam, langzaam” kas waren de koppen dikker dan in de open kas. De trossen staan in tweede instantie wat stekkerig: plant heeft kracht over. De temperatuurverschillen tussen kassen zullen kleiner moeten worden. Daarom koeltemperatuur en ventilatietemperatuur overdag omhoog.

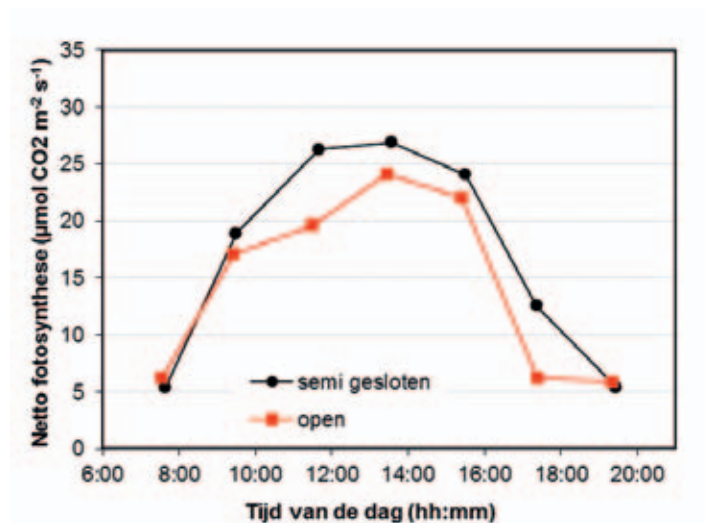
Eind juli was het gewas in de open kas wat vegetatiever met een enkel bladrandje. De temperatuur moet aangepast worden omdat aan het einde van de dag bij donker weer het te lang blijft hangen: was wat te voorzichtig ingesteld. In de kas met langzaam opwarmen en langzaam afkoelen zag het gewas er volgens de BCO heel goed uit. Wel waren er bovenin meer bladrandjes en op de bladpunten ontstaat gemakkelijk Botrytis.

Begin augustus stond in de open kas de LAI aan de lage kant en waren er wat bladrandjes, dus er wordt geen blad meer verwijderd uit de kop. In de “langzaam, langzaam” kas zag het gewas er voller en goed uit. Wel zijn er bovenin meer bladrandjes en op de bladpunten ontstond gemakkelijk Botrytis. Vanaf nu moet er goed op de watergift gelet worden zodat de mat enigszins inteert.

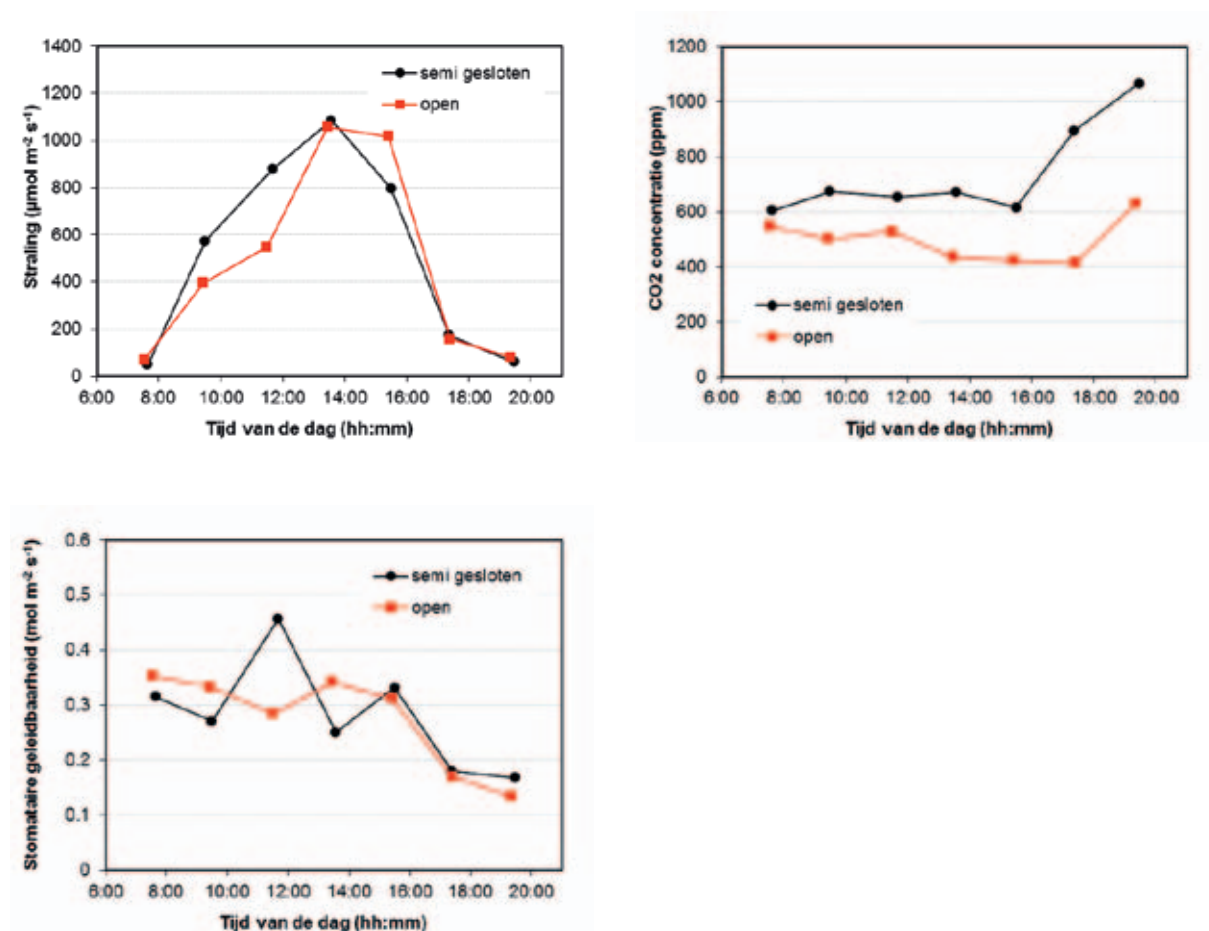
Begin september stond het gewas in de open kas duidelijk beter op dan in de kas met in voornacht langzaam afkoelen en 's morgens langzaam opwarmen. In alle geconditioneerde afdelingen waren er meer bladrandjes met Botrytis dan in de open afdeling. De tomaten in de geconditioneerde kas(sen) waren wel grover dan in de open afdeling.

Begin oktober werd door de BCO opgemerkt dat ten opzichte van de praktijk de productie in de open kas tot nog toe wat aan de lage kant is. De tomaten waren niet echt grof en er stond een vrij vegetatief gewas ten opzichte van de praktijk. Er zaten op dat moment nog 10 tot 12 bladeren aan de plant.

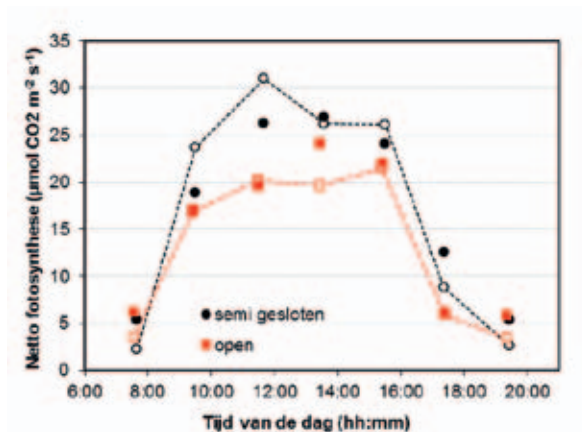
Bijlage II Dagpatronen van de fotosynthese



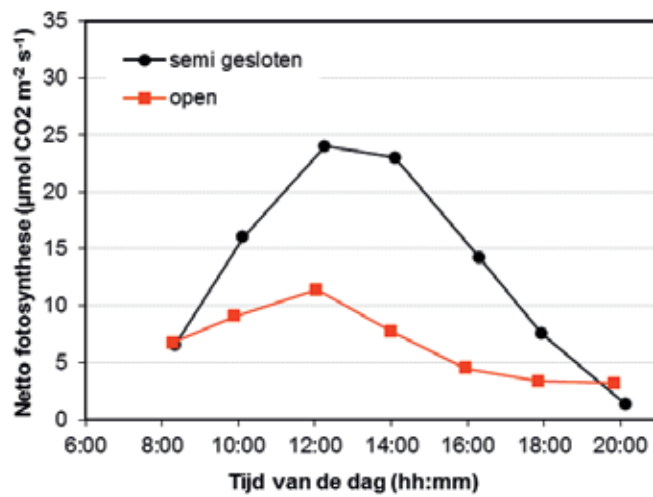
Figuur 1. Dagpatroon van de netto bladfotosynthesesnelheid van de bovenste bladlaag gemeten op 5 augustus in de open kas en een semi-gesloten kas. De omstandigheden in de meetcuve varieerden met de omstandigheden in de kas (zie Figuur 2.).



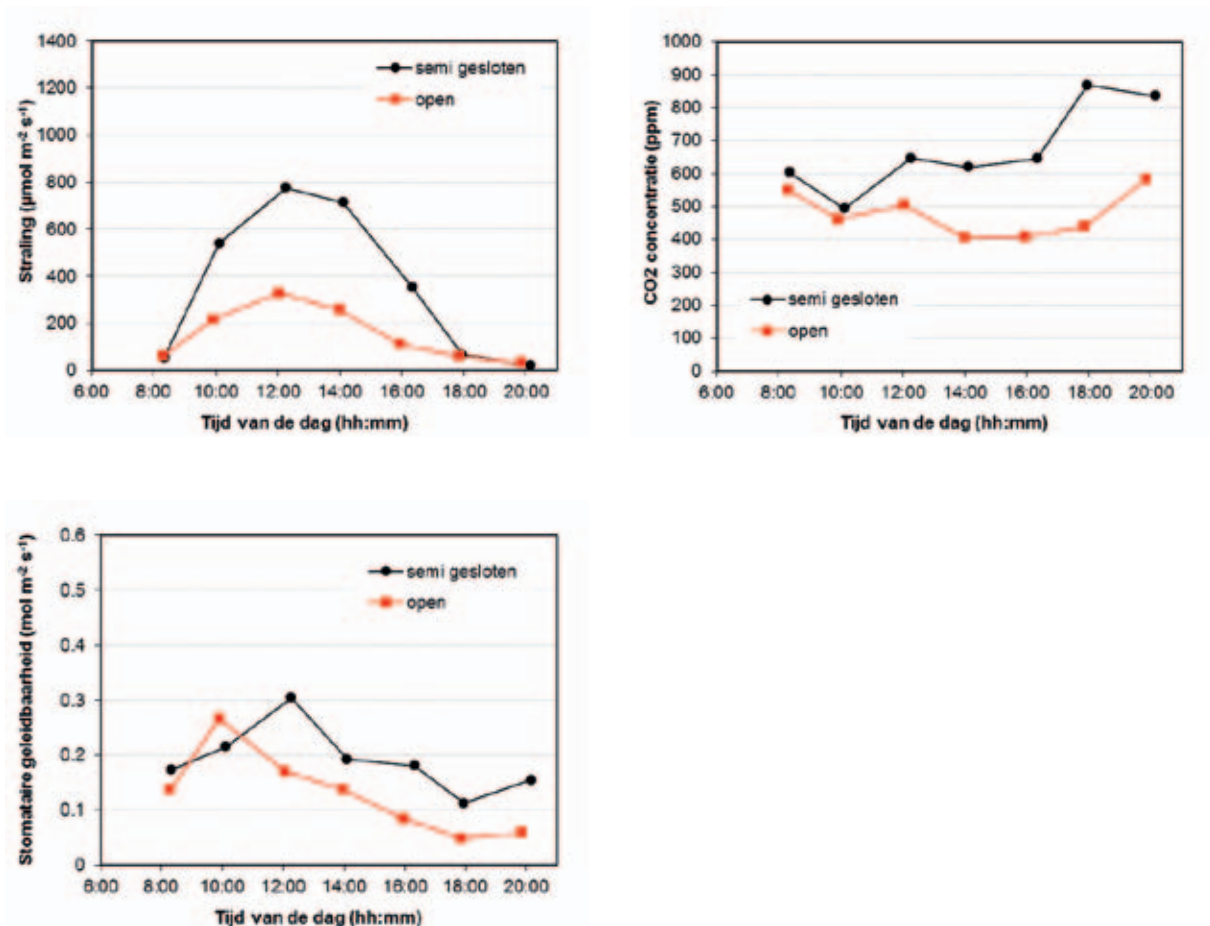
Figuur 2. Verloop van de straling (links), de CO₂ concentratie (rechts) en de stomataire geleidbaarheid (onder) in de open kas en semi-gesloten kas op de momenten dat de fotosynthese gemeten werd in de bovenste bladlaag (zie Figuur 1.).



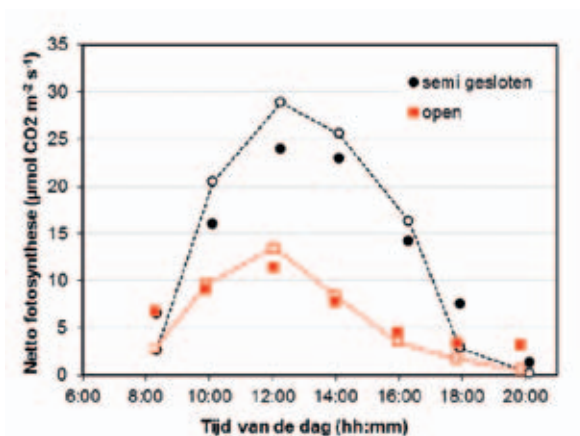
Figuur 3. Vergelijk van de gemeten fotosynthese (dichte symbolen) en de berekende fotosynthese (open symbolen, gestreepte lijn) van de bovenste bladlaag in de open kas en een semi-gesloten kas op 5 augustus.



Figuur 4. Dagpatroon van de netto bladfotosynthesesnelheid van de middelste bladlaag gemeten op 5 augustus in de open kas en een semi-gesloten kas. De omstandigheden in de meetcuvet varieerden met de omstandigheden in de kas (zie Figuur 5.).



Figuur 5. Verloop van de straling (links), de CO₂ concentratie (rechts) en de stomataire geleidbaarheid (onder) in de open kas en semi-gesloten kas op de momenten dat de fotosynthese gemeten werd in de middelste bladlaag (zie Figuur 4.).



Figuur 6. Vergelijk van de gemeten fotosynthese (dichte symbolen) en de berekende fotosynthese (open symbolen, gestreepte lijn) van de middelste bladlaag in de open kas en een semi-gesloten kas op 5 augustus.

